

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA EM
SISTEMAS DE BOMBEAMENTO – ESTUDO DE CASO SISTEMA
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAPINZAL/OURO – (SC)**

Bruno Comunello Eleotero

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2008**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA EM
SISTEMAS DE BOMBEAMENTO – ESTUDO DE CASO SISTEMA
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAPINZAL/OURO – SC**

Bruno Comunello Eleotero

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Peter Batista Cheung**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2008**


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE
BOMBEAMENTO – ESTUDO DE CASO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DE CAPINZAL/OURO – (SC)**


BRUNO COMUNELLO ELEOTERO

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –
TCC II**


BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Peter Batista Cheung
(Orientador)



Prof. Dr. Enio Valmor Kassick
(Membro da Banca)



Eng. Jair Sartorato
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
DEZEMBRO/2008**

RESUMO

ELEOTERO, B. C. **Redução de custos com energia elétrica em sistemas de bombeamento**: estudo de caso sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro - (SC). Florianópolis, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina.

Devido ao crescente número de estações elevatórias em sistemas de abastecimento de água, os custos com energia elétrica atualmente figuram como o maior e principal gasto de diversas companhias de saneamento. Com a realização de estudos que visem encontrar soluções de eficiência energética em sistemas de bombeamento, é possível reduzir significativamente os custos de energia daquelas companhias. Este trabalho visa estudar e propor uma das alternativas sanitárias neste sentido, onde busca-se a diminuição dos custos de energia elétrica, por meio de sistemas de bombeamento a partir do desligamento de estações elevatórias no horário de pico de carga no Sistema Nacional de Energia, favorecendo-se assim das tarifas horo-sazonais. Sob esta perspectiva, foram realizadas experiências que deram origem ao estudo de caso do Sistema de Abastecimento de Água dos Municípios de Capinzal/Ouro – Santa Catarina, cujos resultados mostraram-se satisfatórios apresentando reduções significativas dos custos de energia elétrica.

Palavras-Chave: Sistemas de bombeamento, redução de custos, tarifas de energia.

ABSTRACT

ELEOTERO, B. C. Reduction of costs with electric energy in water systems pumps: case study water supply system of Capinzal/Ouro - SC. Florianopolis, 2008. Work of conclusion's course at Sanitary and Environment Engineering – Federal University of Santa Catarina.

Due to the increasing number of pumps stations in systems of water supply, nowadays the costs with electric energy appear as the greater and main expense of the sanitary companies. With the accomplishment of academic and field researches that aim at finding better resolutions in energy efficiency in water pump systems, it is possible to reduce in an expressive way the expenses with electricity of those companies. By this paper, the author has aimed at studying and considering one among the alternatives in this direction, searching for the reduction of the costs with electric energy, by means of the water pumping system, unfasten the pumps stations in the schedule of load peak in the National System of Energy, taking advantage itself thus of the “sazonals-hours” tariffs. Under this perspective, experiences had been carried through that had given rise to the study of case of the system of water supply of the Cities of Capinzal/Ouro - Santa Catarina, whose results had revealed satisfactory, presenting significant reductions of the costs of electric energy.

Keywords: Water pumping systems, reduction of costs, electric energy tariffs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Esquema de um Sistema de Abastecimento de água (BAHIA, 1998).	4
Figura 2.2 – Estação elevatória de reforço (booster) (NOGAMI, 1975).	8
Figura 2.3 - Bombeamento de água para reservatório de distribuição a montante. Fonte: RECESA (2008).	13
Figura 2.4 - Bombeamento de água para reservatório de distribuição a jusante. Fonte: RECESA (2008).	13
Figura 2.5 - Bombeamento de água para rede de distribuição com reservatório de sobra a jusante. Fonte: RECESA (2008).	14
Figura 2.6 - Curva de Carga típica do Sistema Elétrico nacional. Fonte: (SILVA JUNIOR, 2005).	19
Figura 2.7 – Ações possíveis de um programa de GLD. Fonte: (SILVA JUNIOR, 2005).	22
Figura 5.1 – Visualização geral do município de Capinzal e Ouro.	46
Figura 5.2 - Distribuição do consumo de energia elétrica por estação elevatória.	48
Figura 5.3 - Distribuição do consumo de energia elétrica pela aplicação das tarifas em utilização.	48
Figura 5.4 – Diagrama do Sistema de Abastecimento de Capinzal/Ouro.	49
Figura 5.5 – Localização do setor da CB-04.	51
Figura 5.6 - Diagrama do setor da CB-04.	51
Figura 5.7 - Diagrama do setor da CB-06.	52
Figura 5.8 – Localização do setor da CB-06.	52
Figura 5.9 - Localização dos setores da CB-09, CB-10 e CB-11.	53
Figura 5.11 – Levantamento da estação elevatória CB-09.	54
Figura 5.10 - Diagrama dos setores da CB-09, CB-10 e CB-11.	53
Figura 5.12 – Levantamento da estação elevatória CB-10.	54
Figura 5.13 - Volumes micromedidos entre Julho/2007 a Junho/2008.	58
Figura 5.14 - Volume de água consumido durante o mês de Janeiro/2008.	58
Figura 5.15 - Curvas da variação horária dos consumos nos setores das elevatórias 04, 06 e 11.	61
Figura 5.16 - Curvas de consumo horário na CB-09 e setor R-09.	61
Figura 5.17 - Curvas de consumo horário da CB-10 e setor R-10.	61

Figura 5.18 – Níveis operacionais dos reservatórios.....	67
Figura 5.19 - Percentual do consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta.	71
Figura 5.20 - Percentual do consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta, com o desligamento das elevatórias.	72
Figura 5.21 - Redução da demanda no horário de ponta com a paralisação das elevatórias....	72
Figura 5.22 - Comparação dos custos de consumo de energia para cada elevatória.....	75
Figura 5.23 - Comparação dos custos de consumo de energia, totalizando as elevatórias em estudo.....	75
Figura 5.24 - Comparação da redução do custo com energia para o consumo elétrico no mês de janeiro de 2008.	77
Figura 5.25 - Distribuição percentual do consumo de energia.	77
Figura 5.26 - Comparação dos custos de consumo de energia durante o período de 1 ano.	78
Figura 5.27 - Comparação da redução do custo com energia para o consumo elétrico no mês de janeiro de 2008.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Consumidores do grupo A.	26
Tabela 2.2 – Regras para enquadramento tarifário. Fonte: (MONACHESI, 2005).	29
Tabela 5.1 – Características do sistema de Capinzal/Ouro.	47
Tabela 5.2 - Detalhamento das estações elevatórias.....	50
Tabela 5.3 - Determinação dos setores analisados.	55
Tabela 5.4 – Diagnóstico das estações elevatórias.	56
Tabela 5.5 – Volumes operacionais dos reservatórios.	59
Tabela 5.6 – Consumo diário, na ponta e vazão de adução na CB-04.	63
Tabela 5.7 – Consumo diário, na ponta e vazão de adução na CB-06.	63
Tabela 5.8 – Consumo diário, na ponta e vazão média na CB-11.....	64
Tabela 5.9 – Consumo diário, de ponta e vazão de adução para a situação I na CB-09.	65
Tabela 5.10 – Consumo diário, de ponta e vazão de adução para situação II na CB-09.....	65
Tabela 5.11 - Consumo diário, de ponta e vazão de adução para a situação I na CB-10.....	66
Tabela 5.12 - Consumo diário, de ponta e vazão de adução para a situação II na CB-10.....	66
Tabela 5.13 - Verificação das condições de paralisação das elevatórias em horário de ponta.	68
Tabela 5.14 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, somente para as CB's analisadas.	69
Tabela 5.15 – Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta sem o desligamento das elevatórias.	70
Tabela 5.16 - Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta, com o desligamento das elevatórias.	71
Tabela 5.17 – Tarifas de consumo e demanda de energia elétrica aplicadas no período entre fev/2008 a fev/2009 pela CELESC.	73
Tabela 5.18 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, somente para as CB's analisadas.	74
Tabela 5.19 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, em relação ao consumo total de energia no sistema.	76
Tabela 5.20 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, em relação ao consumo total de energia no sistema durante o período de 1 ano.	78

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	4
3.1.1	Consumos	5
3.1.2	Reservação.....	6
3.1.3	Unidades consumidoras de energia elétrica dentro do sistema de abastecimento	7
3.2	REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA.....	10
3.2.1	Redução do Custo pela Alteração do Sistema Operacional	12
3.2.2	Projetos para otimização de sistemas de bombeamento.....	14
3.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	16
3.3.1	Situação energética no Brasil	17
3.3.2	Gerenciamento pelo lado da demanda.....	18
3.3.3	Horário de ponta	22
3.3.4	Sistema Tarifário de Energia Elétrica.....	23
4.	METODOLOGIA.....	31
4.1	DIAGNÓSTICO	31
4.1.1	Coleta de dados.....	31
4.1.2	Indicadores de desempenho.....	34
4.2	SETORIZAÇÃO	35
4.3	VOLUME MÍNIMO EM OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS	36
4.3.1	Determinação do dia de maior consumo	36
4.3.2	Curva de consumo no maior dia	37
4.3.3	Determinação do volume consumido no dia, do volume útil necessário e vazão mínima de adução.....	37
4.4	COMPARAÇÃO DO VOLUME ÚTIL EM OPERAÇÃO E VOLUME ÚTIL NECESSÁRIO	38

4.5	COMPARAÇÃO DA VAZÃO	38
4.6	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO DIA E NO MÊS	39
4.7	CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA	40
4.7.1	Tarifa Convencional	40
4.7.2	Tarifa Horo-Sazonal Verde	41
4.7.3	Tarifa Horo-Sazonal Azul	43
4.8	VERIFICAÇÃO DA REDUÇÃO DOS CUSTOS	45
5.	RESULTADOS	46
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS	46
5.2	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	49
5.3	SETORIZAÇÃO	51
5.4	DIAGNÓSTICO	55
5.5	SISTEMA DE BOMBEAMENTO-RESERVAÇÃO	57
5.6	VOLUME ÚTIL EM OPERAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS	59
5.7	CURVAS DE CONSUMO	60
5.8	DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÚTIL NO SISTEMA.....	62
5.9	VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE VOLUME E VAZÃO	67
5.10	CONSUMO DE ENERGIA.....	69
5.11	REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E DEMANDA UTILIZADA .	70
5.12	CUSTO E VERIFICAÇÃO DA REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	73
5.13	ANÁLISE DA REDUÇÃO TOTAL PARA O MÊS DE JANEIRO DE 2008	76
5.14	ANÁLISE DA REDUÇÃO TOTAL DE CUSTOS PARA O PERÍODO DE JUL/2007 – JUN/2008.....	77
6.	CONCLUSÕES	80
7.	RECOMENDAÇÕES.....	81
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a utilização de conjuntos motor-bomba para a elevação de água em sistemas de abastecimento público tornou-se indispensável. Em decorrência deste uso, a utilização de energia elétrica no saneamento teve um aumento considerável, significando atualmente 7% do consumo energético mundial (K. JAMES *et al* 2002). Dentro das companhias sanitárias, o custo com energia elétrica é elevado, de tal modo que chega a ocupar o patamar da segunda maior despesa por estas efetuada.

De acordo com o Ministério das Minas e Energia, conforme dados constantes de relatório emitido em 1996, para atender às demandas nacionais de energia, seria necessário que a oferta até então apresentada fosse praticamente triplicada até o ano 2015. Considerando o crescimento econômico e populacional projetado pelo IBGE (1995) até aquele ano, seriam necessários investimentos próximos dos R\$ 200 bi.

Por esta e outras razões, não restam dúvidas quanto à urgência do uso eficiente das fontes de energia, de modo a buscar uma maior suficiência econômica global das entidades gestoras de saneamento.

Certo é que a análise energética vem a contribuir com a melhoria da utilização dos recursos naturais, de modo que a quantificação da degradação do uso da energia permite parametrizar a qualidade do seu uso. Racionar energia significa, diretamente, diminuir o impacto ambiental e, conseqüentemente, dispor de maiores recursos econômicos com a redução dos gastos despendidos com energia elétrica.

Sob este aspecto, uma atenção especial deve ser dada ao estado de motores e bombas, pois o rendimento dos referidos equipamentos diminuem com o passar do tempo. Considerando que um conjunto moto-bomba com baixa eficiência necessita de potência maior para elevar um mesmo volume de água, o resultado é que a sua utilização acarreta em um consumo excessivo e desnecessário de energia para a realização de um mesmo trabalho hidráulico – e, por conseguinte, eleva os custos direcionados à energia elétrica (OTERO, 2007).

Para realizar qualquer atividade de gestão energética dentro de uma companhia sanitária é necessário, em princípio, conhecer e diagnosticar a sua realidade, para então estabelecer as prioridades de ação.

A compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas de energia elétrica também é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética. Dadas as alternativas de enquadramento tarifário disponíveis, o conhecimento da formação da conta e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica.

A estrutura tarifária adotada pelas distribuidoras de energia elétrica, implementada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL no ano 2000, permitiu uma maior flexibilidade nas tarifas. Com a adequação do uso dos equipamentos na intenção de obter uma melhora na eficiência elétrica, as concessionárias de água poderão ajustar o funcionamento de suas bombas para os horários mais econômicos, resultando assim em uma diminuição dos custos com energia elétrica.

Fazendo uma otimização da rede de abastecimento, com dados obtidos em campo e modelagens computacionais, é possível conseguir o uso mais eficiente do sistema de bombeamento. Com estas informações consegue-se a melhor adaptação às tarifas de energia, reavaliando os contratos existentes.

Entretanto, os resultados da implantação dos projetos de melhoria e redução das perdas devem ser acompanhados, tornando-se um processo contínuo. Este diagnóstico é válido para instalações novas, como caráter preventivo, ou instalações existentes como caráter corretivo (MARQUES *et al*, 2007).

E é nesta conjuntura que este trabalho acadêmico é apresentado, propondo-se a aplicar uma das soluções disponíveis às companhias de saneamento visando a diminuição dos custos de energia elétrica. Assim, foram realizadas experiências em sistemas de bombeamento, desligando-se as estações elevatórias em horários de pico, visando melhor aproveitamento das tarifas horo-sazonais disponíveis.

A observação de toda análise energética e posterior implementação deste sistema nos municípios de Capinzal/Ouro, no estado de Santa Catarina, deram origem ao presente estudo de caso, cujos resultados revelaram a proposta como grande alternativa para a redução de gastos em energia, precedida da diminuição do impacto ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal estudar alternativas para redução dos custos com energia elétrica a partir da paralisação das estações elevatórias no horário de ponta do consumo de energia elétrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um diagnóstico do sistema energético atual;
- Levantar os volumes úteis e vazões mínimas necessárias para o armazenamento de água e adução necessária com o desligamento das elevatórias em horário de ponta;
- Verificar a viabilidade de desligamento dos conjuntos motor-bomba no horário de ponta;
- Verificar a redução da carga consumida;
- Realizar reenquadramento tarifário;
- Analisar as reduções dos custos com energia pelo sistema.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo AZEVEDO NETO (1998), um sistema de abastecimento de água é definido como o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao fornecimento de água potável a uma comunidade para diversos fins, como o consumo doméstico, serviços públicos, e consumo industrial. A água fornecida pelo sistema deverá ser em quantidade suficiente para atender às necessidades da população e em conformidade com os padrões de qualidade exigidos pelas normas brasileiras. A Figura 2.1 apresenta um esquema genérico de um sistema de abastecimento de água.

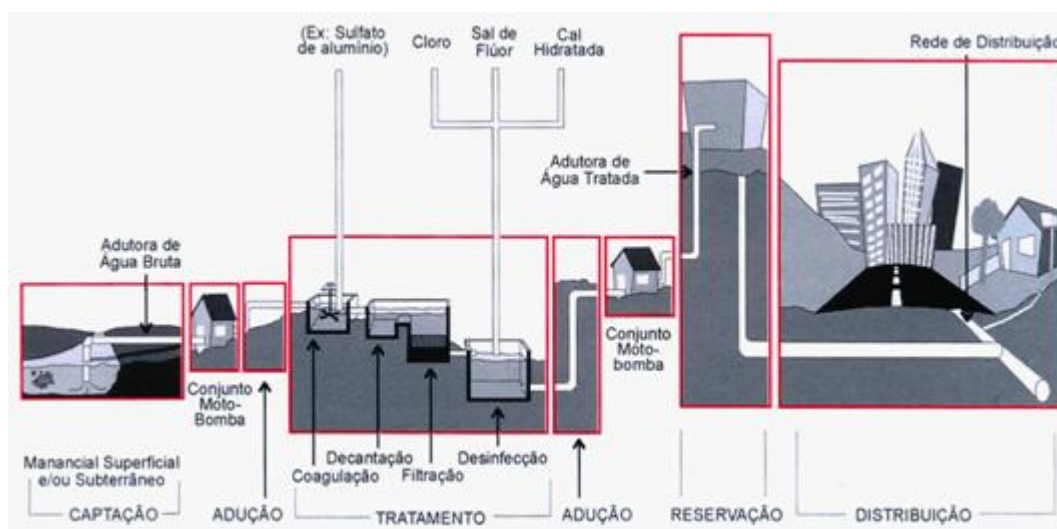


Figura 2.1 – Esquema de um Sistema de Abastecimento de água (BAHIA, 1998).

Para TSUTIYA (2005) o sistema de abastecimento de água compreende diversas unidades:

Manancial: é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Ele deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda

de água no período de projeto e suas águas devem preencher requisitos mínimos de qualidade do ponto de vista químico, físico e bacteriológico.

Captação: conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.

Estação elevatória: conjunto de obras ou equipamentos destinados a recalcar a água bruta ou tratada para a unidade seguinte. Nos sistemas de abastecimento, é comum a presença de estações do tipo “booster”, destinadas a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição.

Adutora: canalização que se destina a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem água aos consumidores, mas podem existir derivações, que são chamadas de sub-adutoras.

Estação de tratamento de água: conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.

Reservatório: é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.

Rede de distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a disponibilizar água potável aos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

3.1.1 Consumos

Para o planejamento e gerenciamento de sistema de abastecimento de água, a previsão do consumo de água é um dos fatores de fundamental importância. Isso porque a operação dos sistemas e as suas ampliações e melhorias estão diretamente associados à demanda de água (TSUTIYA,2005).

Em um sistema de abastecimento de água, a quantidade consumida varia continuamente em função do tempo, das condições climáticas, hábitos da população, etc. Normalmente o consumo doméstico apresenta uma grande variação, enquanto que

para o consumo industrial a variação é menor. Quanto aos consumos comercial e público, a variação encontra-se em uma posição intermediária.

De um modo geral, para o abastecimento de água de uma determinada área ocorrem variações anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas do consumo de água:

Variação anual: o consumo de água tende a crescer com o decorrer do tempo, devido ao aumento populacional e, às vezes, o aumento do consumo per capita é devido a melhoria dos hábitos higiênicos da população e do desenvolvimento industrial;

Variação mensal: nos meses de verão, o consumo é considerado médio, enquanto que, no inverno, o consumo é menor;

Variação diária: o consumo diário geralmente é maior ou menor que o consumo médio diário anual, sendo que o consumo é maior no verão, e menor no inverno;

Variação horária: o consumo varia com as horas do dia, geralmente o maior consumo ocorre entre 10 às 12 horas;

3.1.2 Reservação

Os reservatórios de distribuição de água constituem elementos importantes em sistemas de abastecimento de água, pois além de atenderem às suas diversas finalidades, são elementos visíveis e de maior destaque no sistema de distribuição de água. As principais finalidades dos reservatórios de distribuição de água são:

Regularizar a vazão: receber uma vazão constante, igual à demanda média do dia de maior consumo de sua área de influência, acumular água durante as horas em que a demanda é inferior à média e fornecer as vazões complementares quando a vazão de demanda for superior à média;

Segurança ao abastecimento: fornecer água por ocasião de interrupções no funcionamento normal da adução, como consequência da ruptura da adutora, paralisação da captação ou estação de tratamento, faltas de energia elétrica, etc;

Reserva de água para incêndio: suprir as vazões extras para o combate à incêndio;

Regularizar pressões: tendo em vista que a localização dos reservatórios de distribuição pode influir nas condições de pressão da rede, principalmente, reduzindo as variações de pressões.

Segundo TSUTIYA (2005), além dessas vantagens possibilitadas com a reservação de água, também é possível destacar outras, como:

Bombeamento de água fora do horário de pico elétrico: o reservatório permite que se faça o bombeamento de água fora do horário de pico elétrico, diminuindo sensivelmente os custos de energia elétrica;

Aumento no rendimento dos conjuntos elevatórios: com valores de altura manométrica e vazão aproximadamente constante, os conjuntos motor-bomba poderão operar próximos ao seu ponto de rendimento máximo.

O problema do alto preço da demanda fornecida na ponta pode, também, ser resolvido com o armazenamento de água no período fora de ponta, a custos menores, para utilização no horário de ponta. Por outro lado, a utilização de reservatórios de distribuição apresenta alguns inconvenientes como o custo elevado de implantação, localização para atender as variações de pressões e poderá ocorrer impacto ambiental com a sua implantação.

3.1.3 Unidades consumidoras de energia elétrica dentro do sistema de abastecimento

Uma vez conhecidas as unidades componentes de um sistema de distribuição de água, é possível identificar os principais pontos de consumo de energia. Em geral, a presença de elevatórias é freqüente em todas as etapas do sistema, desde a captação até a distribuição aos consumidores.

Na etapa de captação, as técnicas construtivas da estação elevatória e a escolha do equipamento dependem do tipo de manancial (se superficial ou subterrâneo), da cota da estação de tratamento de água e da qualidade da água.

Na etapa de adução, o recalque da água pode ocorrer entre a captação e a estação de tratamento ou entre esta e o reservatório de distribuição. No primeiro caso, ela está associada às obras e instalações de captação.

A adução por recalque de água tratada apresenta menores inconvenientes do que o recalque de água bruta, pois não há impurezas prejudiciais à bomba e problemas operacionais resultantes da variação do nível de água do manancial. Assim, neste caso, o dimensionamento da bomba a ser utilizada depende essencialmente da vazão e altura manométrica total.

Outro dispositivo comum nas etapas de adução e distribuição, com alto consumo de energia, é a estação pressurizadora ou estação elevatória de reforço, também conhecido como “booster” (Figura 2.2). Este dispositivo tem a finalidade de aumentar a pressão e/ou a vazão em uma tubulação ou em um sistema de tubulações.

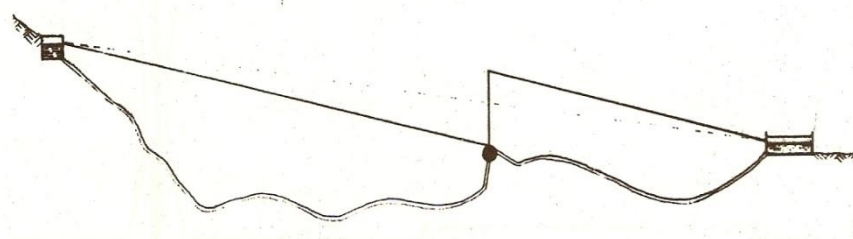


Figura 2.2 – Estação elevatória de reforço (booster) (NOGAMI, 1975).

A utilização de bombas de água em sistemas de abastecimento de água (SAA) tornou-se indispensável e como consequência, também o uso de energia elétrica para o acionamento dos motores que fazem as bombas funcionarem. Uma boa contribuição nesse contexto consiste em reduzir ao máximo o uso irracional de energia, se não pela consciência ambiental da necessidade de deixar para as futuras gerações um planeta em melhores condições de habitabilidade, ao menos pela redução dos custos dos serviços, que em uma análise, serão sempre pagos pela sociedade (MONACHESI, 2005).

Segundo BAHIA (1998), existe uma relação direta entre o consumo de água e o consumo de energia elétrica utilizada para disponibilizar água tratada para a população.

GOMES (2005) descreve que normalmente os desperdícios de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, são decorrentes de fatores como:

- Formas contratuais indevidas;
- Procedimentos operacionais inadequados;
- Desperdícios de água;
- Mau dimensionamento dos sistemas;
- Idade avançada dos equipamentos;
- Tecnologias mal utilizadas;
- Erros de concepção dos projetos;
- Manutenções precárias.

As medidas de eficiência energética em sistemas de saneamento podem ser divididas em ações administrativas e operacionais. Segundo GOMES (2005), as administrativas, que compreendem a primeira fase de medidas a serem tomadas, praticamente, não envolvem custos para serem implantadas. São ações relativas aos contratos existentes com as concessionárias de energia elétrica e podem ser resumidas em:

- Regularização da demanda contratada;
- Reenquadração tarifária;
- Desativação das instalações sem utilização;
- Conferência de leitura da conta de energia elétrica;
- Entendimentos com as companhias energéticas para redução de tarifas.

Normalmente as perdas de energia elétrica nas diversas etapas do sistema de abastecimento de água (captação, transporte, tratamento, armazenamento e distribuição) são encontradas nos procedimentos operacionais existentes, no dimensionamento dos sistemas, na idade dos equipamentos, nas tecnologias não eficientes utilizadas, na manutenção, nas formas contratuais e no desperdício de água (BAHIA, 1998).

Dentre os subcomponentes de uma estação elevatória, o conjunto motor-bomba é o mais importante consumidor de energia elétrica. Este motor é a máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. Os métodos de comando de um motor de indução são implementados com equipamentos eletromecânicos, elétricos e eletrônicos. Estes equipamentos permitem acelerar (partir) e desacelerar (frenar) o

motor de acordo com requisitos impostos pela carga, segurança, concessionárias de energia elétrica etc. (TSUTIYA, 2005). Segundo BAHIA (1998), levando-se em conta a energia utilizada, as unidades de adução podem ser classificadas em:

Adução por gravidade: dispensa o bombeamento de água, tornando-se energeticamente mais econômica, porém, depende das características topográficas locais. Esses tipos de adutoras são favoráveis energeticamente, pois não necessitam de energia elétrica para sua operação.

Adução por recalque ou através de bombeamento: exige um conjunto elevatório ou estação de bombeamento. A água é conduzida sob pressão de um ponto a outro mais elevado através de um conjunto motor-bomba e, conseqüentemente, com um consumo de energia associado.

Adução mista: é a associação das duas anteriores (gravidade e recalque), combina trechos de escoamento por gravidade com trechos de escoamento por recalque.

3.2 REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA

A implantação de medidas que possam reduzir os custos com energia elétrica é de suma importância para a viabilidade econômica das empresas que operam os sistemas de água e esgoto, pois o custo de energia elétrica tem sido cada vez mais elevado, principalmente devido a crise no setor energético (ELETROBRÁS, 2005).

De acordo com TSUTIYA (2005), a redução no índice de perdas de água e o uso racional da água, terão influência significativa no custo de energia elétrica, pois com a diminuição do volume de água a ser recalcada, haverá uma diminuição no consumo de energia elétrica. Identificando os pontos de uso excessivo de energia, após de um diagnóstico do sistema em operação, consegue-se a redução do custo de energia elétrica em um SAA.

Posteriormente às implantações de medidas de eficiência energética no sistema, são realizadas algumas ações administrativas, visando a otimização dos equipamentos eletromecânicos e a otimização hidráulica, levando-se em conta os aspectos operacionais do sistema. TSUTIYA (2005) apresenta diversas alternativas para a

redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água, as quais são:

1. Redução do custo sem diminuição do consumo de energia

Redução do custo sem investimento: resulta na verificação da classe em que se enquadra o sistema; readequação da demanda contratada; reenquadramento tarifário; desativação de instalações sem uso (corte de ligação); conferência da medição da energia elétrica (erro de leitura); negociação com as companhias energéticas para a redução de tarifas e operações emergenciais (paradas imprevistas e/ou falta de energia elétrica).

Redução do custo com investimento: correção do fator de potência; alteração da tensão de alimentação; melhoria do fator de carga.

2. Redução do custo pela diminuição do consumo de energia

Redução da altura manométrica: redução da altura geométrica; redução das perdas de carga devido a escolha adequada do diâmetro, limpeza ou revestimento da tubulação, entre outros.

Redução no volume de água: controle de perdas de água; uso racional da água.

Aumento no rendimento dos conjuntos motor-bomba: melhora no rendimento do motor; melhora no rendimento da bomba.

3. Redução do custo pela alteração do sistema operacional

Alteração do sistema de bombeamento para reservação; utilização de variadores de rotação nos conjuntos motor-bomba; alteração nos procedimentos operacionais.

4. Redução do custo pela automação do sistema de abastecimento de água

Instalação de automação em sistemas de bombeamento, que reduz sensivelmente os custos operacionais com mão-de-obra, ao mesmo tempo em que minimiza as possibilidades de ocorrência de problemas operacionais causados por falhas humanas.

5. Redução do custo com a geração de energia elétrica

Aproveitamento de potenciais energéticos e uso de geradores próprios em horários de ponta.

3.2.1 Redução do Custo pela Alteração do Sistema Operacional

As principais alterações operacionais dos sistemas de abastecimento de água que podem reduzir substancialmente os custos de energia elétrica são:

- Alteração do sistema bombeamento-reservação;
- Utilização de inversores de frequência em conjuntos motor-bomba;
- Alteração nos procedimentos operacionais de estações de tratamento de água.

3.2.1.1 Alteração do sistema bombeamento-reservação

A distribuição de água na maioria dos sistemas não pode ser feita somente por gravidade. Há necessidade de utilização de estações elevatórias para recalcar água em reservatórios de distribuição. Normalmente as bombas que recalcam água para reservatórios enterrados, semi-enterrados ou apoiados são projetadas com capacidade para atender a demanda máxima diária. Nesses casos, o bombeamento é contínuo durante 24 horas/dia, de modo a manter os reservatórios cheios ou com um nível de

água pré-determinado. O método operacional apresentado nas Figuras 2.3, 2.4 e 2.5 tem sido tradicionalmente utilizado no Brasil.

O volume de reservação que normalmente tem sido utilizado no Brasil é de 1/3 do volume distribuído no dia de maior consumo. Entretanto, várias pesquisas efetuadas em sistemas existentes mostram que o volume útil necessário é cerca da metade desse valor, ou seja, normalmente, há uma folga de reservação de cerca de 15%, pois diferentemente de outros países desenvolvidos, no Brasil é comum o uso do reservatório domiciliar que funciona como parte integrante da reservação total do sistema de abastecimento. Por essa razão, vários sistemas de abastecimento permitem a parada de bombeamento (no máximo de 3 horas) no horário de ponta elétrico compreendido entre as 17 e 22 horas (RECESA, 2008).

A parada das bombas no horário de ponta tem sido realizada com sucesso, tanto em pequenos sistemas de abastecimento de água como em grandes sistemas, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo. De um modo geral, essa alteração operacional tem representado cerca de 10 a 20% na redução dos custos de energia elétrica (TSUTIYA, 2005).

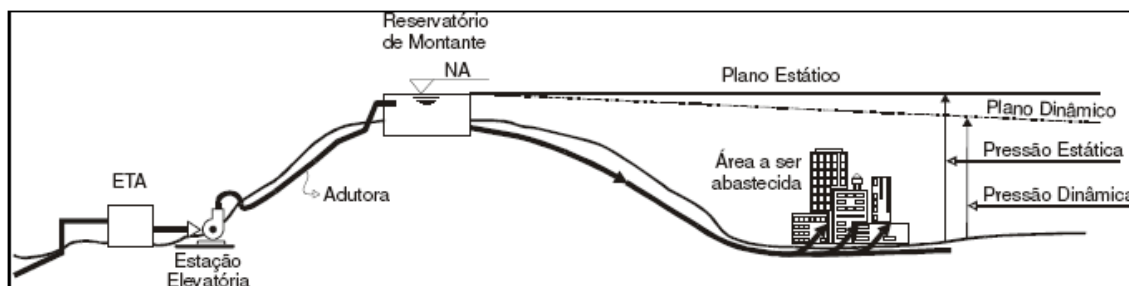


Figura 2.3 - Bombeamento de água para reservatório de distribuição a montante. Fonte: RECESA (2008).

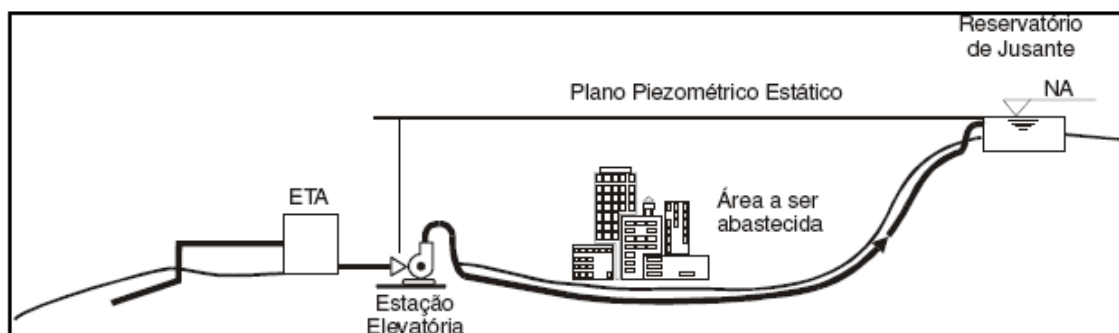


Figura 2.4 - Bombeamento de água para reservatório de distribuição a jusante. Fonte: RECESA (2008).

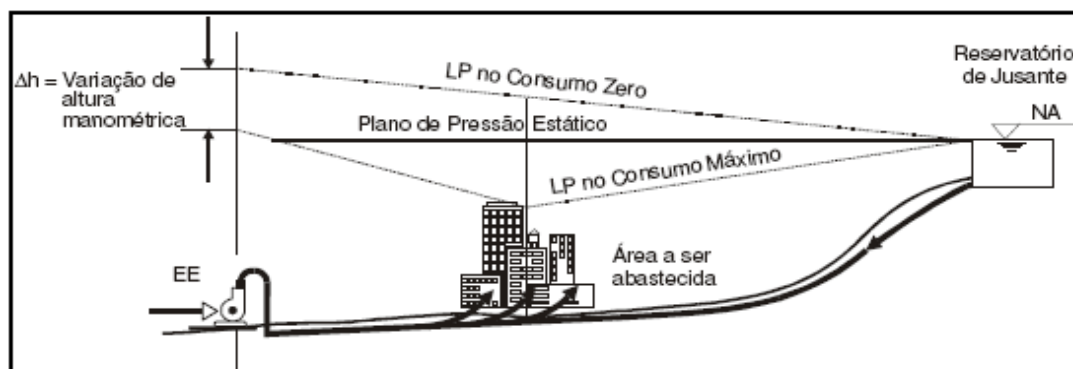


Figura 2.5 - Bombeamento de água para rede de distribuição com reservatório de sobra a jusante. Fonte: RECESA (2008).

3.2.2 Projetos para otimização de sistemas de bombeamento

Este tipo de projeto tem com principal objetivo reduzir o consumo de energia elétrica em instalações de bombeamento por meio da melhoria da eficiência dos processos envolvidos nos sistemas de bombeamento tais como a substituição de tubulações, conexões e acessórios, válvulas, motores, bombas, por outros de eficiência mais elevada; utilização de inversores de frequência e/ou otimização operacional por automação. As medidas adotadas para redução de consumo poderão eventualmente propiciar a redução de demanda no horário da ponta e fora da ponta.

3.2.2.1 Projetos de modulação de carga que deslocam ou reduzem a demanda do horário da ponta

Os reservatórios de distribuição são projetados para atender a variação da demanda que ocorre ao longo do dia e sazonalmente, ao longo do ano. É demonstrável que o cálculo do volume útil necessário para um reservatório é na verdade uma combinação de duas variáveis básicas: a taxa com a qual a água é demandada no setor

abastecido pelo reservatório e; a taxa com o qual é alimentado, normalmente por um sistema de estação(ões) elevatória(s) e adutora(s).

A norma brasileira estipula critérios para dimensionamento de reservatórios que acarretam muitas vezes reservatórios com capacidade ociosa. A utilização desta margem de ociosidade pode propiciar uma otimização operacional que resulte na eliminação total ou parcial do bombeamento no horário da ponta do sistema elétrico, mesmo em sistemas antigos (ELETROBRÁS, 2003).

3.2.2.2 Projetos que otimizam a reservação com aumento do bombeamento fora do horário da ponta

Em um dado sistema, caso seja possível otimizar a reservação existente, deslocando os bombeamentos para fora do horário da ponta por meio da modulação da vazão bombeada fora da ponta, talvez seja viável que os ganhos com a demanda evitada na ponta justifiquem os investimentos necessários para conseguir tal deslocamento. Para este tipo de projeto deverão ser apresentados:

- A curva de demanda média horária do setor abastecido pelo reservatório, para o dia de maior consumo;
- As configurações possíveis para o bombeamento (1 bomba, 2 bombas, etc.), com ou sem o uso de inversor de frequência e as respectivas vazões bombeadas, hora a hora;
- Os consumos e demandas de energia, na ponta e fora da ponta, com a situação atual;
- Os consumos e demandas de energia, na ponta e fora da ponta, para a situação prevista no projeto;
- As especificações e curvas características do bombeamento atual e a curva do sistema;
- As especificações e curvas características para o bombeamento proposto e do sistema proposto.

3.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Cada litro de água que se move pelo sistema de abastecimento de água representa um significativo custo de energia. De acordo com DUARTE (2008), os custos de energia consumida, em conjunto com os custos de pessoal, tendem a representar uma das despesas mais significativas dos custos de operação dos sistemas de abastecimento de água. Por esta razão, o uso eficiente da energia é crítico para a eficiência econômica global das entidades gestoras.

Não obstante os problemas estruturais enfrentados pelo setor de saneamento, projetos identificados pelo Programa PROCEL SANEAR da ELETROBRÁS têm evidenciado que a eficiência energética pode colaborar efetivamente para minimizar os custos dos prestadores de serviços de saneamento, podendo resultar ainda em menores tarifas de água, esgoto e energia para a sociedade, acelerando também o processo de universalização de ambos os serviços (ELETROBRAS, 2005).

Tendo-se como objetivo a melhoria na eficiência energética e por conseguinte a redução dos custos com as despesas de energia elétrica e manutenção dos equipamentos na operação dos sistemas de abastecimento de água. As estações de bombeamento de água são componentes fundamentais desses sistemas, em especial, ao tratar-se da eficiência energética. Tipicamente, uma estação de bombeamento consiste de uma quantidade de bombas de diferentes capacidades, as quais são utilizadas para bombear água para um ou mais reservatórios; essas bombas trabalham em combinação com outras para atender a demanda de consumo (MONACHESI, 2005).

Segundo JAMES *et al* (2002), o consumo de energia na maioria dos sistemas de água em todo o mundo poderia ser reduzido em pelo menos 25% mediante a implementação de ações de efficientização energética com melhor desempenho.

De acordo com GELLER (1994), a eficiência energética é maximizada quando se consegue realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à que era usualmente consumida, sem que isso prejudique sua qualidade, conforto e eficiência. Neste sentido, ser eficiente do ponto de vista energético equivale a consumir menos energia para obter-se o mesmo resultado final, reduzindo custos com a eletricidade consumida, custos com a manutenção dos equipamentos e outros.

A principal vantagem da eficiência energética, segundo JAMES *et al* (2002), onde a sua implantação é sempre mais barata que a produção de energia, ainda que o investimento em tecnologia eficiente requeira também maiores gastos de capital e que sistemas e equipamentos eficientes são, geralmente, mais caros que as tecnologias que substituem.

3.3.1 Situação energética no Brasil

A energia elétrica, por ser fundamental para a economia do País e para uma melhor qualidade de vida da população, vinha sendo, historicamente, atrelada às políticas de segurança nacional e a monopólio de Estado. Porém, o crescimento econômico, o advento da melhoria nas comunicações físicas e eletrônicas e o amadurecimento da sociedade passaram a provocar o relaxamento das relações sociais, comerciais e internacionais (JANNUZZI, 1997).

A tendência crescente é a de maior desregulamentação do setor elétrico, assim como de toda a economia. Essa tendência é o resultado da evolução e do amadurecimento da sociedade humana. À medida que a sociedade apresenta condições e interesse de assumir determinada atividade, o Estado deve transferir a ela essa responsabilidade. O Estado deve atuar nas atividades necessárias ao País, em que a iniciativa privada ainda não tenha apresentado interesse e competência (HERMSDORFF, 2003).

O País, desde a década de oitenta, vem apresentando curtos períodos de crescimento e longos períodos de estagnação ou recessão. Segundo o comportamento das contas públicas e do panorama mundial, de acordo com as expectativas dos economistas, o País está entrando em um novo período de crescimento sustentado. Talvez o maior empecilho para esse crescimento seja a limitação energética. O crescimento produtivo e o aumento do consumo como um todo levam obrigatoriamente a um crescimento do consumo de energia elétrica, especialmente no estágio de desenvolvimento em que o Brasil se encontra. Não se pode crescer sem energia e não se pode crescer mais rapidamente que o aumento da quantidade de energia ou de um

expressivo aumento de eficiência energética. As construções de centrais geradoras, de subestações de elevação e de rebaixamento, de linhas de transmissão e distribuição consomem vários anos e altos investimentos. Para isso, é preciso capital. Para ter capital, é preciso de crescimento e, para esse crescimento, falta energia.

3.3.2 Gerenciamento pelo lado da demanda

Em qualquer empresa, seja ela pública ou privada, é aconselhável que seja implementado um programa de combate ao desperdício de energia. Este programa visa a mudança de hábitos de consumo e uma otimização da utilização da energia elétrica através de orientação, estudos, implementações e controle sobre recursos econômicos, materiais e humanos, que culminarão numa redução dos índices de consumo de energia necessária para a produção do mesmo produto ou serviço.

Para que se tenha êxito com a aplicação da eficiência energética, é necessário um acompanhamento rigoroso de todas as atividades desenvolvidas, bem como confrontar periodicamente os dados obtidos com metas previamente traçadas. Estas metas devem ser estipuladas no momento de implantação do programa, devendo ser revistas ao longo de todo o processo e retificadas sempre que necessário (SILVA JUNIOR, 2005).

O Gerenciamento Pelo lado da Demanda – GLD, teve seu surgimento nos EUA na década de 70, DSM (*Demand Side Management*). Surgiu com o objetivo de combater os grandes desperdícios de energia praticados até então, melhorar o fator de carga do sistema elétrico e incorporar um apelo ecológico, que desde aquela época já era de grande importância. Em toda ação de combate ao desperdício de energia, cria-se uma “sobra” de energia proveniente da otimização do uso dos energéticos, adiando-se assim a construção de novas usinas e, no caso das termelétricas, a redução do consumo de recursos não renováveis (SILVA JUNIOR, 2005).

Em geral, o GLD tem como objetivo principal, a redução da demanda máxima em uma determinada região, o que leva aos circuitos e equipamentos de geração, transmissão e distribuição, operarem mais distantes de suas capacidades máximas, com

imediate redução de perdas nos mesmos, aumento do fator de carga da empresa e economia na geração de energia.

A principal vantagem da implementação dos programas de GLD é a maximização do aproveitamento dos recursos já em operação do setor elétrico. Desta forma, obtém-se, em linhas gerais, redução de custos, maximização da receita e aumento da confiabilidade do sistema elétrico. Para PROCEL/SANEAR (1998) citado por SILVA JUNIOR (2005), gerenciar a demanda significa criar condições favoráveis ao consumidor, que justifique a mudança de hábito e costumes, sem prejuízo do conforto e bem estar, criando a possibilidade de aumentar a rentabilidade das empresas distribuidoras de energia elétrica, com a possibilidade de otimização tarifária, maximizando a rentabilidade.

Com esta conceituação, fica claro que as ações praticadas pelos projetos de GLD são implementadas diretamente ou estimuladas de forma indireta pelas concessionárias de energia, cujo principal objetivo é atuar junto aos consumidores de forma a modificar a curva de carga do sistema, a qual pode ser vista na Figura 2.6. É salutar, que os consumidores adotem estes conceitos de gerenciamento de energia em benefício próprio, com ou sem a presença das concessionárias, o que tem sido denominado de eficiência energética nos usos finais.

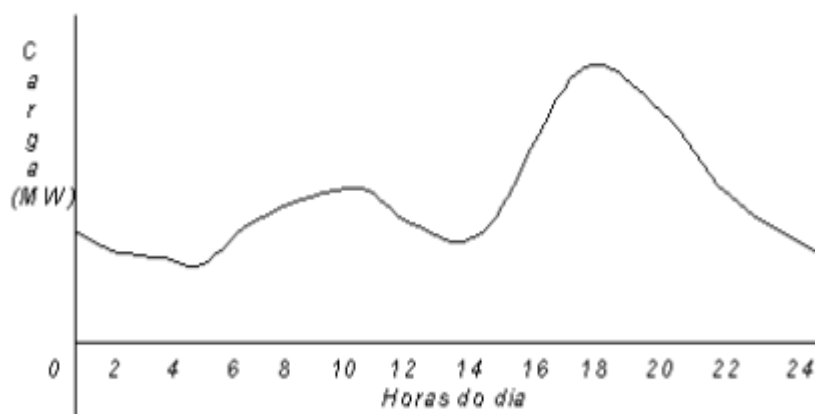


Figura 2.6 - Curva de Carga típica do Sistema Elétrico nacional. Fonte: (SILVA JUNIOR, 2005).

3.3.2.1 Tipos de Programas de GLD

Do ponto de vista operacional, existem dois tipos básicos de programas de GLD:

a) Programas que permitem o controle direto da carga, através de ações que interferem de forma direta no uso da energia pelos consumidores. Esses programas ainda têm que atender a seguintes condições:

- Capacidade de controlar a carga, no sentido de poder acioná-la ou interromper seu funcionamento quando necessário, e permitir seleção dos pontos corretos de operação.
- Possibilidade de verificar a operação em tempo real do recurso, de modo a assegurar a eficiência e confiabilidade do sistema.

b) Programas que não permitem o controle direto da carga, estes procuram alterar a curva de carga pela mudança de hábitos de consumo, através de projetos de marketing, campanhas educativas e tarifas diferenciadas.

As ações adotadas para gerenciar a curva de carga dependem do objetivo final do estudo realizado, considerando-se a forma de consumo do grupo de consumidores onde as medidas estão sendo implementadas. Essas ações podem ser adotadas isoladamente ou em conjunto que, de maneira sistematizada, irão refletir diretamente na curva de carga. SILVA JUNIOR (2005) apresenta 6 tipos de ações possíveis de se implementar um projeto de GLD, caracterizadas pela Figura 2.7.

1) Corte do pico de demanda - consiste na redução do consumo de carga da instalação, em um dado período da curva de carga, devido ao desligamento de algum(s) aparelho(s) na instalação ou por um sistema de comutação de circuitos. Este achatamento na curva geralmente acontece no horário de ponta do setor elétrico, fazendo com que a concessionária consiga uma certa folga na geração, garantindo o fornecimento de energia para todos os seus usuários.

2) Preenchimento dos Vales – consiste no aumento de consumo nos horários de vale da curva de carga, fazendo com que a instalação passe a ter um consumo de energia mais uniforme possível, elevando seu fator de carga.

3) Conservação Estratégica - consiste em reduzir o consumo em todos os pontos da curva. Este fato é conseguido através da reforma de instalações antigas e pela substituição de equipamentos existentes, por outros mais eficientes, sem a perda dos benefícios oriundos de sua utilização.

4) Aumento de Carga – consiste em estimular um aumento no uso da energia em todos os pontos da curva. É uma ação vantajosa onde ocorre sobra de energia. Também pode refletir um incentivo na melhora da qualidade de vida de uma região, através da aquisição de bens de consumo, ou ainda, um atrativo na implantação de novas fontes consumidoras de energia, como bares, indústrias, hotéis etc, promovendo o desenvolvimento no local.

5) Deslocamento de Carga – Consiste no deslocamento de cargas dos horários de picos de energia para os horários de vales. As concessionárias estimulam o deslocamento das cargas do horário de ponta para os horários fora de ponta, e para isso elas utilizam as tarifas diferenciadas, cabe ao consumidor escolher a que melhor lhe atende segundo os critérios.

6) Flexibilidade na Forma de Consumo - Consiste em oferecer a certos consumidores (normalmente industriais) tarifas menores, porém com a aceitação da parte deles da condição de serem desconectados da rede, caso necessário, para assegurar a continuidade do atendimento a outros consumidores.

O sistema elétrico é projetado para o atendimento de uma dada potência, no caso, a ponta. Assim, paga-se um alto preço para a utilização de energia elétrica por um curto período de tempo. Durante todo o tempo do período fora de ponta, uma fração do investimento feito satisfaria as necessidades dos consumidores. Dessa forma, subtrair consumo de energia da ponta significa uma melhor utilização das instalações e o adiamento de novos investimentos e problemas sociais e ambientais. Isso deveria mesmo reverter em menores custos de energia para o consumidor (HERMSDORFF, 2003).

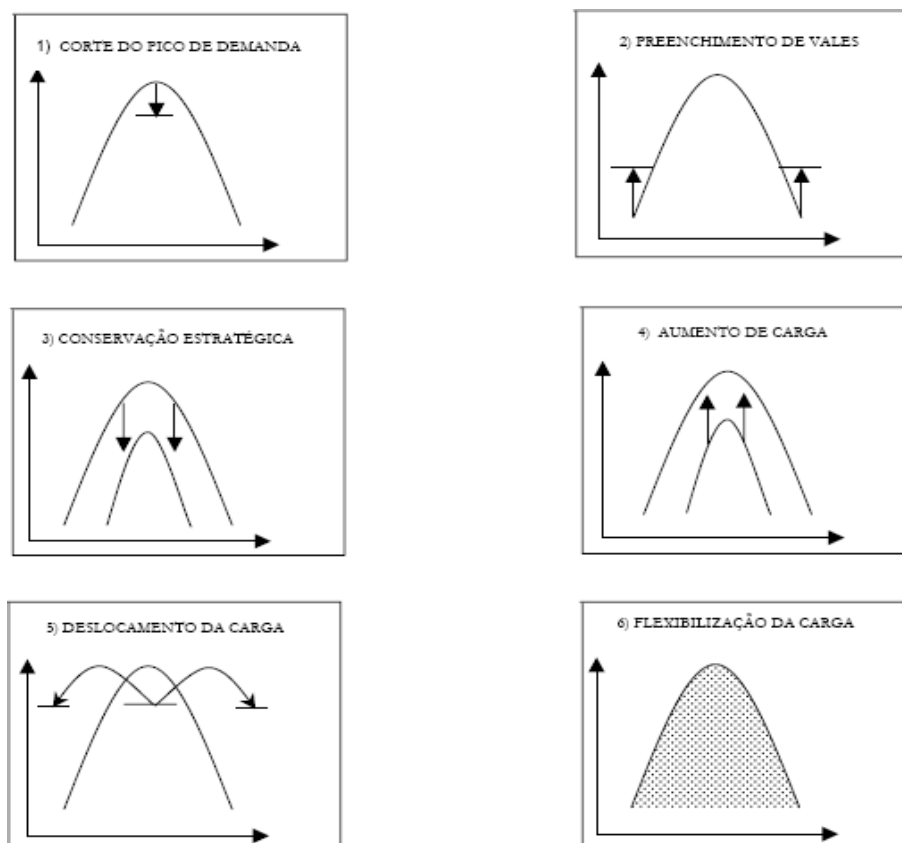


Figura 2.7 – Ações possíveis de um programa de GLD. Fonte: (SILVA JUNIOR, 2005).

3.3.3 Horário de ponta

Até o ano de 1981, o único sistema de tarifa utilizado no Brasil era o Convencional, que não buscava disciplinar o consumo, uma vez que não possuía diferenciação de preços segundo sua utilização durante as horas do dia e/ou períodos do ano.

A curva de carga do sistema elétrico brasileiro tem uma demanda acentuada no horário das 18 às 21 horas. O sistema tarifário horo-sazonal azul busca, por meio de tarifas diferenciadas, em função do horário do dia, premiar o consumo e a demanda fora da ponta. Define-se como horário de ponta, para efeitos de tarifação, três horas consecutivas das 17 às 22 horas, de segunda a sexta-feira, ou seja, em um mês tem, em média, 65 horas de ponta e 665 horas fora de ponta. A demanda e o consumo são taxados em cerca de duzentos por cento e mais de trezentos por cento a mais na ponta

do que fora de ponta, respectivamente. Por essas razões, o custo da energia elétrica e da demanda no horário de ponta acaba custando por hora cerca de nove vezes o correspondente preço do horário normal.

A carga média dos horários fora de ponta é chamada de carga de base e a carga média das cinco horas do horário de ponta é chamada de carga de ponta. Para se obter um melhor equilíbrio do sistema de geração, utiliza-se durante o dia, nos horários fora de ponta, a energia gerada pelas usinas hidrelétricas, mantendo o suprimento da carga de base. Na medida em que aumenta o consumo, adiciona-se ao sistema a energia gerada pelas usinas termelétricas (de maior custo).

Objetivando deslocar parte do consumo desse período para outros, a partir de 1986 foi introduzida no País a tarifa binômica horo-sazonal, por meio de sobretaxas da demanda e da energia durante esse período. É, também, desestimulado o uso da energia elétrica, por meio de tarifas maiores, no período considerado seco para os reservatórios das hidrelétricas, que vai de maio a novembro (HERSMSDORFF, 2003).

Devido ao maior carregamento das redes de distribuição no horário de ponta, verifica-se que um novo consumidor a ser atendido pelo sistema custará mais à concessionária nesse período de maior solicitação do que em qualquer outro horário do dia, tendo em conta a necessidade de ampliação do sistema para atender a carga no horário de ponta.

Visando principalmente a racionalização do uso da energia e a inclusão dos consumidores na solução dos problemas ocasionados pelos seus hábitos de consumo, foram criadas as Estruturas Tarifárias Horo-Sazonal Verde e Azul que compreendem uma sistemática de aplicação de tarifas diferenciadas, de acordo com o horário do dia e períodos do ano.

3.3.4 Sistema Tarifário de Energia Elétrica

A compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas de energia é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética. Dadas as alternativas de enquadramento

tarifário disponíveis para alguns consumidores, o conhecimento da formação da conta e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica (ELETROBRAS, 2001).

Todos os equipamentos elétricos possuem uma potência, que pode ser identificada em watts (W), em horse power (hp) ou em cavalo vapor (cv). O consumo de energia elétrica é igual à potência em watts (W) vezes o tempo em horas (h), expressa em watthora (Wh). Portanto, depende das potências dos equipamentos e do tempo de funcionamento desses. Nas contas de energia elétrica as grandezas envolvidas são elevadas (milhares de Wh), sendo padronizado o uso do kWh (MONACHESI, 2005).

Segundo ANEEL (2005), os consumidores de energia elétrica pagam, por meio da conta recebida de sua empresa distribuidora de energia elétrica, um valor correspondente à quantidade de energia elétrica consumida, no mês anterior, estabelecida em quilowatt-hora (kWh) e multiplicada por um valor unitário, denominado tarifa, medido em reais por quilowatt-hora (R\$/kWh), que corresponde ao valor de 1 quilowatt (kW) consumido em uma hora.

3.3.4.1 Classificação dos Consumidores

A ANEEL identifica os consumidores por classes:

Residencial – na qual se enquadram, também, os consumidores residenciais de baixa renda cuja tarifa é estabelecida de acordo com critérios específicos;

Industrial – na qual se enquadram as unidades consumidoras que desenvolvem atividade industrial, inclusive o transporte de matéria prima, insumo ou produto resultante do seu processamento;

Comercial, Serviços e Outras Atividades – na qual se enquadram os serviços de transporte, comunicação e telecomunicação e outros afins;

Rural – na qual se enquadram as atividades de agropecuária, cooperativa de eletrificação rural, indústria rural, coletividade rural e serviço público de irrigação rural;

Poder Público – na qual se enquadram as atividades dos Poderes Públicos: Federal, Estadual ou Distrital e Municipal;

Iluminação Pública – na qual se enquadra a iluminação de ruas, praças, jardins, estradas e outros logradouros de domínio público de uso comum e livre acesso, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público;

Serviço Público – na qual se enquadram os serviços de água, esgoto e saneamento; e

Consumo Próprio – que se refere ao fornecimento destinado ao consumo de energia elétrica da própria empresa de distribuição.

3.3.4.2 Componentes da Tarifa

As tarifas de energia elétrica são definidas com base em dois componentes: demanda de potência e consumo de energia. A demanda de potência é medida em quilowatt e corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora, durante um intervalo de tempo especificado normalmente (15 minutos) e é faturada pelo maior valor medido durante o período de fornecimento, normalmente de 30 dias. O consumo de energia é medido em quilowatt-hora ou em megawatt-hora (MWh) e corresponde ao valor acumulado pelo uso da potência elétrica disponibilizada ao consumidor ao longo de um período de consumo, normalmente de 30 dias. As tarifas de demanda de potência são fixadas em reais por quilowatt e as tarifas de consumo de energia elétrica são fixadas em reais por megawatt-hora (R\$/MWh) e especificadas nas contas mensais do consumidor em reais por quilowatt-hora. Nem todos os consumidores pagam tarifas de demanda de potência. Isso depende da estrutura tarifária e da modalidade de fornecimento na qual o consumidor está enquadrado (ANEEL, 2005).

Define-se estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, de acordo com a modalidade de fornecimento. No Brasil, as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grandes grupos de consumidores: “grupo A” e “grupo B”. Na sequência, seguem as regras de enquadramento tarifário.

Tarifas do grupo A

As tarifas do “grupo A” são para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 quilovolts (kV), e recebem denominações com letras e algarismos indicativos da tensão de fornecimento, segundo a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Consumidores do grupo A.

SUBGRUPO	TENSÃO DE FORNECIMENTO
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo

As tarifas do “grupo A” são construídas em três modalidades de fornecimento:

- Convencional,
- Horo-sazonal azul e
- Horo-sazonal verde.

a) Estrutura tarifária convencional

A estrutura tarifária convencional é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Além disso, apresenta um valor para a demanda de potência em reais por quilowatt e outro para o consumo de energia em reais por megawatt-hora.

O consumidor atendido em alta tensão pode optar pela estrutura tarifária convencional, se atendido em tensão de fornecimento abaixo de 69 kV, sempre que tiver contratado uma demanda inferior a 300 kW.

b) Estrutura tarifária horo-sazonal

A estrutura tarifária horo-sazonal é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. O objetivo dessa estrutura tarifária é racionalizar o consumo de energia elétrica ao longo do dia e do ano, motivando o consumidor, pelo valor diferenciado das tarifas, a consumir mais energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata.

Para as horas do dia são estabelecidos dois períodos, denominados postos tarifários. O posto tarifário “ponta” corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica, que ocorre entre 18:30 e 21:30 horas do dia, adotado pela CELESC. O posto tarifário “fora da ponta” compreende as demais horas dos dias úteis e as 24 horas dos sábados, domingos e feriados. As tarifas no horário de “ponta” são mais elevadas do que no horário “fora de ponta”.

Já para o ano, são estabelecidos dois períodos: “período seco”, quando a incidência de chuvas é menor, e “período úmido” quando é maior o volume de chuvas. As tarifas no período seco são mais altas, refletindo o maior custo de produção de energia elétrica devido à menor quantidade de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, provocando a eventual necessidade de complementação da carga por geração térmica, que é mais cara. O período seco compreende os meses de maio a novembro e o período úmido os meses de dezembro a abril.

Tarifa horo-sazonal azul

A tarifa horo-sazonal azul é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia. Ela é aplicável obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado, e com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV. A tarifa horo-sazonal azul tem a seguinte estrutura:

Demanda de potência (R\$/kW):

Um valor para o horário de ponta (P)

Um valor para o horário fora de ponta (FP)

Consumo de energia (R\$/MWh):

Um valor para o horário de ponta em período úmido (PU)

Um valor para o horário fora de ponta em período úmido (FPU)

Um valor para o horário de ponta em período seco (PS)

Um valor para o horário fora de ponta em período seco (FPS)

Tarifa horo-sazonal verde

A tarifa horo-sazonal verde é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

Demanda de potência (R\$/kW): valor único

Consumo de energia (R\$/MWh):

Um valor para o horário de ponta em período úmido (PU)

Um valor para o horário fora de ponta em período úmido (FPU)

Um valor para o horário de ponta em período seco (PS)

Um valor para o horário fora de ponta em período seco (FPS)

As regras para enquadramento tarifário, de acordo com MONACHESI (2005), conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Regras para enquadramento tarifário. Fonte: (MONACHESI, 2005).

TIPO DE TARIFA	VALORES A SEREM FATURADOS		
	CONSUMO (kWh)	DEMANDA (kW)	ULTRAPASSAGEM DA DEMANDA
CONVENCIONAL Aplicada como opção para consumidores com demanda menor que 300 kW (1)	Total Registrado x Preço único	Maior valor entre: - a medida ou - a contratada x Preço único Exceção (2)	Aplicável quando a demanda medida superar a contratada em 10%
VERDE Aplicada como opção para consumidores da AT.(3)	Total registrado no HFP x Preços HFP para períodos seco e úmido. + Total registrado no HP x Preços HP para períodos seco e úmido.	Maior valor entre: - a medida ou - a contratada x Preço único. Exceção (2)	Aplicável quando a demanda medida superar a contratada em 10%
AZUL Aplicada de forma compulsória para clientes com demanda maior ou igual a 300 kW e opcional para aqueles com demanda entre 30 a 299 kW. (3)	Total registrado no HFP x Preços HFP para períodos seco e úmido. + Total registrado no HP x Preços HP para períodos seco e úmido.	Maior valor entre: - a medida ou - a contratada x Preços diferenciados para HFP e HP. Exceção (2)	Aplicável quando a demanda medida superar a contratada em 10%, na MT e 5% na AT, nos respectivos horários.

Observações:

HFP – Horário Fora de Ponta

HP – Horário de Ponta

Observação 1 – Caso uma unidade consumidora enquadrada na THS apresente nove registros de demanda medida menor que 300 kW nos últimos onze ciclos de faturamento, poderá optar por retornar para a convencional.

Observação 2 – Quando a unidade consumidora for classificada como rural ou reconhecida como sazonal, a demanda a ser faturada será:

Tarifa convencional - a demanda medida no ciclo de faturamento ou 10% da maior demanda medida em qualquer dos 11 (onze) ciclos completos de faturamento anteriores;

Tarifa horo-sazonal - a demanda medida no ciclo de faturamento ou 10% da demanda contratada. A cada 12 (doze) meses, a partir da data da assinatura do contrato de

fornecimento, deverá ser verificada, por segmento horário, demanda medida não inferior à contratada em pelo menos 3 (três) ciclos completos de faturamento. Caso contrário, a concessionária poderá cobrar, complementarmente, na fatura referente ao 12º (décimo segundo) ciclo, as diferenças positivas entre as 3 (três) maiores demandas contratadas e as respectivas demandas medidas.

Observação 3 – Se nos últimos 11 meses de faturamento o consumidor apresentar três registros consecutivos ou seis alternados de demandas medidas maiores ou iguais a 300 kW, o cliente será enquadrado compulsoriamente na tarifa horo-sazonal azul, mas poderá fazer opção pela verde.

4. METODOLOGIA

4.1 DIAGNÓSTICO

O diagnóstico energético é importante para conhecer a situação atual e as características do sistema de bombeamento analisado. Logo, este trabalho deve ser feito de forma organizada para que o diagnóstico possa obter análises coerentes e objetivas, como também serem realizadas em um período de tempo satisfatório.

As etapas de um diagnóstico energético seguem um plano de ações padronizado, mas podem sofrer alterações devido à peculiaridade de cada caso estudado. De modo geral, essas etapas podem ser divididas da seguinte forma:

- Identificação e visita a instalação: levantamento de dados gerais sobre a instalação a ser diagnosticada.
- Coleta de dados: recolhimento do banco de dados com as medições de grandezas elétricas, hidráulicas e coleta de informações sobre a estrutura e funcionamento da instalação. Caso o sistema não possua estas informações, é necessário fazer o levantamento utilizando medidores de vazões, tensão, corrente, etc.
- Análise técnica de dados: interpretação e realização de cálculos que gerem valores que tem significado para a descrição do potencial de conservação de energia.

4.1.1 Coleta de dados

A coleta de dados sobre o comportamento energético de uma estação elevatória deve ser planejada de forma criteriosa, para que se obtenha a quantidade necessária de informações. Dessa etapa do diagnóstico depende todas as outras, porque são esses

dados que servirão de base para as análises posteriores. As fontes de informações para essa etapa inicial são:

a) Levantamento de dados por inspeção no local

O levantamento de dados por inspeção é a coleta de dados referentes à verificação dos equipamentos em campo (conjuntos motor-bomba, reservatórios e macromedidores), conferindo com o cadastro utilizado pela concessionária. Nesta etapa é necessário saber como é feita a operação do sistema e suas singularidades.

b) Recolhimento de dados da telemetria

Os sistemas de informação de energia e água são usados principalmente para o monitoramento e otimização do consumo de energia elétrica. São programas que recebem dados através de medições feitas por um aparelho de medição elétrica que se encontra acoplado aos medidores da concessionária, macromedidores de vazão instalados em pontos estratégicos no sistema e níveis dos reservatórios. Os dados indicados pelos equipamentos são armazenados em um servidor ou supervisor, caso exista um sistema de automação das estações elevatórias.

c) Faturas de energia

As faturas de energia indicam os resultados das medições realizadas pela concessionária durante um período de observação de aproximadamente 30 dias. Estes documentos fornecem alguns dados importantes ao estudo, como:

- Consumo de energia
- Demanda contratada
- Demanda fornecida
- Fator de potência

d) Análise técnica dos dados

Para cada estação elevatória foi realizado o levantamento das suas características, resultando o diagnóstico atual do sistema.

Potência consumida (kW)

$$P_{CONSUMIDA} = \frac{V \times i \times \sqrt{3}}{1000} \quad (4.1)$$

Onde: $P_{CONSUMIDA}$ – Potência instantânea consumida pelo conjunto motor-bomba (kW);

V – Tensão na elevatória (Volt);

i – Corrente elétrica na elevatória (A).

Potência média (kW)

$$P_{med} = \frac{\sum P_{CONSUMIDA}}{n} \quad (4.2)$$

Onde: P_{MED} – Potência média do conjunto motor-bomba (kW);

$\sum P_{CONSUMIDA}$ – Somatório das potências instantâneas (kW);

n – Número de dados analisados.

Vazão média bombeada (m³/h)

$$Q_{MED} = \frac{\sum Q}{n} \quad (4.3)$$

Onde: Q_{MED} – Vazão média aduzida pelo conjunto motor-bomba (m³/h);

$\sum Q$ – Vazão instantânea (m³/h);

n – Número de dados analisados.

Altura Geométrica (m)

$$H_{GEO} = H_{RES} - H_{BOMBA} \quad (4.4)$$

Onde: H_{GEO} – Desnível geométrico entre o conjunto motor-bomba e o reservatório (m);

H_{RES} – Altura geométrica do reservatório (m);

H_{BOMBA} – Altura geométrica da estação elevatória (m).

4.1.2 Indicadores de desempenho

4.1.2.1 Consumo Específico De Energia Elétrica

O consumo específico de energia elétrica em bombeamento, largamente utilizado no setor, é a relação entre o consumo de energia (kWh) de um determinado grupo e o volume bombeado (m^3) pelo grupo na unidade de tempo. Para sua determinação, portanto, são necessários registros dessas grandezas durante o mesmo período de tempo (OTERO, 2007). Na falta desses registros, deve-se observar que o regime de operação no momento da medição corresponda à condição predominante para o conjunto em questão, obtendo-se, por esta consideração de potência elétrica e vazão constantes a fórmula de aproximação adotada:

$$CE = \frac{kWh}{m^3} = \frac{[Potência\ elétrica\ medida\ (kW) \times tempo(h)]}{[Volume\ bombeado\ (m^3)]} \quad (4.5)$$

Este indicador reflete a eficiência do conjunto motor-bomba misturada com a eficiência do sistema hidráulico a jusante da bomba. Este indicador é útil para acompanhar o desempenho de uma mesma instalação de bombeamento ao longo do tempo, mas não se presta a comparar o desempenho de estações de bombeamento distintas, sendo esta a sua principal limitação. Isto se deve ao fato de que diferentes

sistemas recalcam água a diferentes alturas manométricas, em diferentes configurações hidráulicas, consumindo naturalmente diferentes quantidades de energia, ainda que o rendimento dos equipamentos seja igual (OTERO, 2007).

4.1.2.2 Consumo Específico De Energia Normalizado

A IWA (International Water Association), propôs reduzir as alturas manométricas de diferentes instalações a uma altura única, de modo a permitir a comparação do desempenho destas. Assim, foi criado o CEN – Consumo Específico de Energia Elétrica Normalizado, que pode ser assim definido:

“Quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 m de altura por meio de instalações de bombeamento” (ALEGRE *et al*, 2000). Este indicador pode ser entendido como uma medida indireta do rendimento médio dos conjuntos motor-bomba.

Ou seja, para uma determinada instalação de bombeamento, o CEN varia linearmente e de forma inversamente proporcional com o rendimento do conjunto motor-bomba, ou em outras palavras, na medida em que o rendimento aumenta, o consumo de energia diminui e por consequência o CEN diminui. O cálculo do CEN se faz através da equação:

$$CEN = \frac{kWh}{m^3/100\text{ m}} = \frac{[Potência\ elétrica\ medida\ (kW) \times tempo(h)]}{\left[Volume\ bombeado\ (m^3) \times \left(\frac{Altura\ geométrica\ (m)}{100\ (m)}\right)\right]} \quad (4.6)$$

4.2 SETORIZAÇÃO

O conhecimento da disposição do traçado de um sistema de abastecimento de água é de fundamental importância para saber a região atendida pela elevatória junto do

seu reservatório. Para um melhor entendimento do sistema, é realizado a formulação de um diagrama. Neste, são indicados os principais componentes do sistema:

- 1) Captação
- 2) Estação de tratamento de água;
- 3) Reservatórios;
- 4) Estações elevatórias;
- 5) Macromedidores.

4.3 VOLUME MÍNIMO EM OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

Realizando o levantamento dos aspectos físicos de cada reservatório obtém-se o volume total de armazenamento. O volume de operação ou volume útil é encontrado a partir dos dados de consumo de água medidos pelos macromedidores instalados na entrada dos setores, junto com o nível mínimo de água que aciona os conjuntos motor-bomba nas elevatórias.

$$V_{MÍN EM OPERAÇÃO} = V_{TOTAL} (m^3) \times H_{MÍN.OPERAÇÃO} (\%) \quad (4.7)$$

4.3.1 Determinação do dia de maior consumo

Para determinar o possível dia de maior consumo, é necessário levantar os volumes consumidos pela micromedição mensal durante o período de estudo. Após esta análise, encontra-se o mês onde houve o maior consumo de água dentro do sistema de abastecimento.

Com os dados da telemetria, levanta-se os volumes consumidos durante o mês de maior consumo, encontrando assim o dia de maior consumo de água.

4.3.2 Curva de consumo para o maior dia

Com os setores definidos para cada estação elevatória e o conhecimento do dia em que será realizado o estudo, é feito então o levantamento das curvas de consumo de cada setor analisado.

4.3.3 Determinação do volume consumido no dia, do volume útil necessário e vazão mínima de adução

Com o levantamento das curvas de consumo, determina-se o volume consumido no dia através do somatório dos volumes. O volume útil do reservatório é calculado através dos volumes que resultam da diferença entre o volume de adução e o volume de distribuição, sendo positivo quando o volume de alimentação é maior que o volume de distribuição e negativo, caso contrário (TSUTIYA, 2005).

O volume consumido no horário de ponta é a área abaixo da curva de consumo durante esse período. Para obter esta área, é realizado o somatório das diferenças entre o volume de adução e o volume de distribuição durante as 18h30min e 21h30min, resultando no volume necessário para atender totalmente a demanda consumida pelo setor no horário de ponta.

O conhecimento do volume consumido no dia de maior consumo, leva à determinação da vazão a ser aduzida fora do horário de ponta, de modo a garantir o abastecimento do setor com as bombas desligadas no horário de ponta. Sendo assim, pode-se determinar a configuração do tempo de funcionamento mínimo das bombas, assegurando o abastecimento do setor e maximizando a utilização da reservação do período de ponta.

Com o volume total consumido durante o dia, obteve-se através da equação (4.8), a vazão mínima necessária de recalque do conjunto motor-bomba para atender o setor analisado. Logo após, foi calculado a vazão de adução necessária para atender o setor utilizando somente 21 (vinte e uma) horas do dia, desligando no horário de ponta, entre as 18h30min e 21h30min.

$$Q_{adu} = \frac{V_{consumido}}{t} \quad (4.8)$$

Onde: $Q_{ADUZIDA}$ – m³/hora

$V_{CONSUMIDO}$ – m³

t - horas

4.4 COMPARAÇÃO DO VOLUME ÚTIL EM OPERAÇÃO E VOLUME ÚTIL NECESSÁRIO

Para estudar a viabilização das alternativas de eficiência energética, tais como o desligamento das bombas no horário de ponta é necessário que se obedeça a seguinte condição:

$$V_{\text{MINIMO NECESSÁRIO}} \leq V_{\text{MINIMO EM OPERAÇÃO}}$$

Onde: $V_{\text{MÍNIMO NECESSÁRIO}}$ – volume necessário para atender a demanda no horário de ponta acrescido do volume de segurança, 20% do volume de ponta (m³);

$V_{\text{MÍNIMO EM OPERAÇÃO}}$ – volume mínimo do reservatório em operação, obtido a partir dos dados de área e limites operacionais do reservatório (m³).

4.5 COMPARAÇÃO DA VAZÃO

Com a vazão necessária de adução para o dia de maior consumo anual, fez-se a comparação com a menor vazão aduzida pelo conjunto motor-bomba neste dia, ou seja, certificando que:

$$Q_{adu} \leq Q_{bomba} \quad (4.9)$$

4.6 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO DIA E NO MÊS

Nesta etapa é calculado o tempo necessário que o conjunto levará para bombear o volume total de água consumida no dia.

$$T = \frac{V_{\text{consumido}}}{Q_{\text{bomba}}} \quad (4.10)$$

Onde: T = o tempo em que a bomba estará funcionando;

Com a determinação do tempo de operação da elevatória e a potência do motor, consegue-se o consumo de energia durante o dia:

$$CE_{\text{DIA}} = T \times P_{\text{MED}} \quad (4.11)$$

Onde: CE = Consumo de energia (kWh)

T = tempo de operação (h)

P_{MED} = Potência média do motor elétrico (kW)

Para uma previsão mensal, o valor encontrado do consumo elétrico diário foi multiplicado pelo número de dias no mês de janeiro, 31 dias, obtendo-se então o consumo de energia elétrica mensal.

$$CE_{\text{MES}} = CE_{\text{DIA}} \times T \quad (4.12)$$

Onde: CE_{MES} = Consumo de energia durante o mês (kWh)

T = dias de operação (dia)

P_{MED} = Potência média do motor elétrico (kW)

4.7 CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA

Para o cálculo do custo de energia elétrica, foi realizada uma análise entre as tarifas de energia elétrica convencional, azul e verde, utilizando os valores de consumo elétrico durante o mês. As tarifas de energia elétrica utilizadas foram estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – (ANEEL), no período compreendido do estudo.

Neste estudo não foram adicionados os impostos e os descontos referentes à tarifação da distribuição de energia elétrica, ou seja, foram utilizados os valores brutos estabelecidos pela agência reguladora, ANEEL.

4.7.1 Tarifa Convencional

A conta de energia elétrica para consumidores desta tarifa é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem da demanda:

$$C_{CONVENCIONAL} = P_{CONSUMO} + P_{DEMANDA} + P_{ULTRAPASSAGEM} \quad (4.13)$$

Onde: $C_{CONVENCIONAL}$ = custo utilizando a tarifa convencional (R\$)

$P_{CONSUMO}$ = parcela do consumo (R\$)

$P_{DEMANDA}$ = parcela da demanda (R\$)

$P_{ULTRAPASSAGEM}$ = parcela da ultrapassagem da demanda (R\$)

A parcela de consumo é calculada multiplicando-se o consumo medido pela Tarifa de Consumo:

$$P_{CONSUMO} = CE \times t_{CONSUMO} \quad (4.14)$$

Onde: $P_{CONSUMO}$ = parcela do consumo (R\$)

CE = consumo de energia elétrica (kWh)

t_{CONSUMO} = tarifa de consumo de energia, sem impostos (R\$/kWh)

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a Tarifa de Demanda pela Demanda Contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em 10% a Demanda Contratada:

$$P_{\text{DEMANDA}} = D \times t_{\text{DEMANDA}}$$

Onde: P_{DEMANDA} = parcela da demanda (R\$)

D = demanda contratada (kW)

t_{DEMANDA} = tarifa de demanda, sem impostos (R\$/kW)

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 10% a Demanda Contratada. É calculada multiplicando-se a Tarifa de Ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a Demanda Contratada:

$$P_{\text{ULTRAPASSAGEM}} = (D_{\text{MEDIDA}} - 1,1 \times D) \times t_{\text{ULTRAPASSAGEM}}$$

Onde: $P_{\text{ULTRAPASSAGEM}}$ = parcela da ultrapassagem de demanda (R\$)

D = demanda contratada (kW)

D_{MEDIDA} = demanda medida (kW)

$t_{\text{ULTRAPASSAGEM}}$ = tarifa de demanda de ultrapassagem, sem impostos (R\$/kW)

4.7.2 Tarifa Horo-Sazonal Verde

O enquadramento na tarifa Convencional exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua um único valor da demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido). A conta de energia elétrica desses

consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem:

$$C_{VERDE} = P_{CONSUMO} + P_{DEMANDA} + P_{ULTRAPASSAGEM} \quad (4.15)$$

Onde: C_{VERDE} = custo utilizando a tarifa Horo-Sazonal verde (R\$)

$P_{CONSUMO}$ = parcela do consumo (R\$)

$P_{DEMANDA}$ = parcela de demanda (R\$)

$P_{ULTRAPASSAGEM}$ = parcela de ultrapassagem (R\$)

A parcela de consumo é calculada multiplicando-se o consumo medido pela Tarifa de Consumo:

$$P_{CONSUMO} = CE \times t_{CONSUMO} \quad (4.16)$$

Onde: $P_{CONSUMO}$ = parcela do consumo (R\$)

CE = consumo de energia elétrica (kWh)

$t_{CONSUMO}$ = tarifa de consumo de energia, sem impostos (R\$/kWh)

A parcela de demanda é calculada multiplicando-se a Tarifa de Demanda pela Demanda Contratada ou pela demanda medida (a maior delas), caso esta não ultrapasse em 10% a Demanda Contratada:

$$P_{DEMANDA} = D \times t_{DEMANDA}$$

Onde: $P_{DEMANDA}$ = parcela de demanda (R\$)

D = demanda contratada (kW)

$t_{DEMANDA}$ = tarifa de demanda, sem impostos (R\$/kW)

A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa em mais de 10% a Demanda Contratada. É calculada multiplicando-se a

Tarifa de Ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a Demanda Contratada:

$$P_{ULTRAPASSAGEM} = (D_{MEDIDA} - 1,1 \times D) \times t_{ULTRAPASSAGEM} \quad (4.17)$$

Onde: $P_{ULTRAPASSAGEM}$ = parcela de ultrapassagem (R\$)

D = demanda contratada (kW)

D_{MEDIDA} = demanda medida (kW)

$T_{ULTRAPASSAGEM}$ = tarifa de demanda, sem impostos (R\$/kW)

4.7.3 Tarifa Horo-Sazonal Azul

Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta (Demanda Contratada na Ponta) quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta (Demanda Contratada fora de Ponta). A conta de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem. Em todas as parcelas observa-se a diferenciação entre horas de ponta e horas fora de ponta:

$$C_{AZUL} = P_{CONSUMO} + P_{DEMANDA} + P_{ULTRAPASSAGEM} \quad (4.18)$$

Onde: C_{AZUL} = custo utilizando a tarifa Horo-Sazonal (R\$)

$P_{CONSUMO}$ = parcela do consumo (R\$)

$P_{DEMANDA}$ = parcela de demanda (R\$)

$P_{ULTRAPASSAGEM}$ = parcela de ultrapassagem (R\$)

A parcela de consumo é calculada através da expressão abaixo, observando-se, nas tarifas, o período do ano:

$$P_{CONSUMO} = CE_P \times t_P + CE_{FP} \times t_{FP} \quad (4.19)$$

Onde: $P_{CONSUMO}$ = parcela do consumo (R\$)

CE_P = consumo de energia elétrica no horário de ponta (kWh)

CE_{FP} = consumo de energia elétrica no horário fora de ponta (kWh)

t_P = tarifa de consumo de energia no horário de ponta, sem impostos (R\$/kWh)

t_{FP} = tarifa de consumo de energia fora de ponta, sem impostos (R\$/kWh)

As tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são diferenciadas por período do ano, sendo mais caras no período seco (maio à novembro).

A parcela de demanda é calculada somando-se o produto da Tarifa de Demanda na ponta pela Demanda Contratada na ponta (ou pela demanda medida na ponta, de acordo com as tolerâncias de ultrapassagem) ao produto da Tarifa de Demanda fora da ponta pela Demanda Contratada fora de ponta (ou pela demanda medida fora de ponta, de acordo com as tolerâncias de ultrapassagem):

$$P_{DEMANDA} = D_P \times t_P + D_{FP} \times t_{FP} \quad (4.20)$$

Onde: $P_{DEMANDA}$ = parcela de demanda (R\$)

D_P = demanda no horário de ponta (kW)

D_{FP} = demanda fora do horário de ponta (kW)

t_P = tarifa de demanda no horário de ponta, sem impostos (R\$/kW)

t_{FP} = tarifa de demanda fora do horário de ponta, sem impostos (R\$/kW)

As tarifas de demanda não são diferenciadas por período do ano. A parcela de ultrapassagem é cobrada apenas quando a demanda medida ultrapassa a Demanda Contratada acima dos limites de tolerância. Esses limites são de 5% para os sub-grupos A1, A2 e A3 e de 10% para os demais sub-grupos. É calculada multiplicando-se a Tarifa de Ultrapassagem pelo valor da demanda medida que supera a Demanda Contratada:

$$P_{ULTRAPASSAGEM} = (D_{MP} - 1,05 \times D_P \text{ ou } 1,1 \times D_P) \times t_{UP} + (D_{MFP} - 1,05 \times D_{FP} \text{ ou } 1,1 \times D_{FP}) \times t_{UFP} \quad (4.21)$$

Onde: $P_{ULTRAPASSAGEM}$ = parcela de ultrapassagem (R\$)

D_{MP} = demanda medida na ponta (kW)

D_{MFP} = demanda medida fora de ponta (kW)

D_P = demanda contratada na ponta (kW)

D_{FP} = demanda contratada fora de ponta (kW)

t_{UP} = tarifa de ultrapassagem na ponta, sem impostos (R\$/kW)

t_{UFP} = tarifa de ultrapassagem fora de ponta, sem impostos (R\$/kW)

4.8 VERIFICAÇÃO DA REDUÇÃO DOS CUSTOS

Após a determinação dos custos de energia elétrica durante o mês, é quantificado a redução dos custos com o reenquadramento. A verificação se faz através dos custos utilizando a tarifa contratada (convencional) e as tarifas horosazonais (verde e azul).

5. RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS

Este estudo foi realizado nos municípios de Capinzal e Ouro no Estado de Santa Catarina e contou com o apoio do Laboratório de Redes de Saneamento da Universidade Federal de Santa Catarina (RESAN-UFSC) em parceria com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e o Sistema Intermunicipal de Água e Esgoto de Capinzal/Ouro (SIMAE). Na Figura 5.1, apresenta-se a visualização dos municípios em estudo.



Figura 5.1 – Visualização geral dos municípios de Capinzal e Ouro.

O sistema em estudo possui um conjunto único de abastecimento de água, que atende os municípios de Capinzal e Ouro, localizados no meio-oeste de Santa Catarina. O abastecimento é realizado através de uma captação de água bruta, tendo como fonte superficial o Rio do Peixe, possuindo Estação Elevatória denominada de CB-01, onde recalca a água através de uma adutora de ferro fundido até a estação de tratamento. Após o tratamento convencional, a água é armazenada no reservatório central RS-01 onde posteriormente é distribuída à região baixa das duas cidades, por gravidade.

Para atender às regiões altas das cidades são utilizadas 10 (dez) estações elevatórias, denominadas neste trabalho como casa de bomba (CB), todas recalcando água para seus próprios reservatórios, situados na parte alta de cada setor operacional e, a partir desses reservatórios, é distribuída por gravidade à população. Na Tabela 5.1, são descritos as principais informações do sistema no mês de junho de 2008.

Tabela 5.1 – Características do sistema de Capinzal/Ouro.

SIMAE Capinzal/Ouro		
População	26.000	hab
Ligações	6.492	und
Extensão da Rede	145,2	km
Volume de água fornecido	92.011	m ³ /mês
Consumo de Energia	137.612	kWh/mês
Desnível do sistema	220	m
Índice de Perdas de Água	27	%

Fonte: SIMAE.

Existe uma supervisão central operando via ondas de rádio, através do qual monitora-se e opera-se todo o sistema de abastecimento de água. Através dele, todas as Estações Elevatórias de Água operam automaticamente controlando os níveis de água nos reservatórios de distribuição, podendo efetuar operações de acionamento e desligamento dessas elevatórias. Monitoram-se também outros parâmetros, tais como: tensão e corrente elétrica utilizadas pelos conjuntos motor-bomba.

A maioria das estações elevatórias possui instalados medidores eletromagnéticos de vazão, macromedidores, onde são monitoradas as vazões instantâneas e vazões acumuladas em cada uma delas. Pode-se monitorar também, através do sistema de telemetria, as vazões instantâneas e acumuladas em todas as saídas dos reservatórios,

além das vazões das principais redes do sistema de distribuição, onde existem instalados macromedidores nas saídas de cada reservatório e em pontos estratégicos da rede de distribuição. A distribuição do consumo de energia por cada estação elevatória e o sistema tarifário em vigência, são apresentados nas Figura 5.2 e Figura 5.3, respectivamente. A Figura 5.4 mostra o diagrama do funcionamento do sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro, destacando as estações elevatórias, diferenciadas pela sua tensão elétrica, além dos reservatórios, macromedidores e setores operacionais.

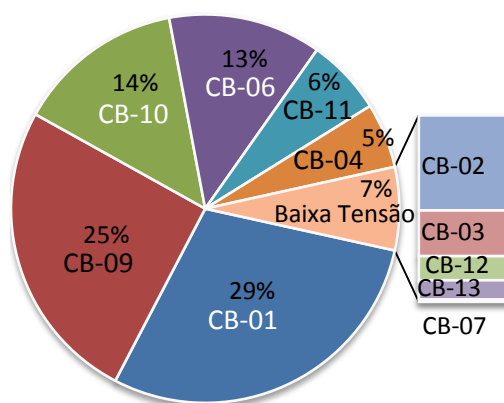


Figura 5.2 - Distribuição do consumo de energia elétrica por estação elevatória.

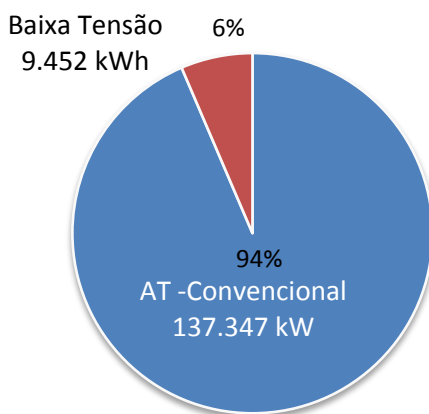


Figura 5.3 - Distribuição do consumo de energia elétrica pela aplicação das tarifas em utilização.

- FP – Fator de potência medido em instalações classificadas como Alta Tensão;
- Enquadramento tarifário;
- D_{CONTRATADA} – Demanda contratada (kW).

Tabela 5.2 - Detalhamento das estações elevatórias.

UC	IDENTIF	Pot Inst (kW)	Enquadram Tarifário	UC	IDENTIF	Pot Inst (kW)	Enquadram Tarifário
CB-01	Captação	56,7	A4 - Conv	CB-09	José Cadorim	56,7	A4 - Conv
		FP	D _{CONTRATADA}			FP	D _{CONTRATADA}
		0,94	109			0,94	70
CB-02	Bairro Colégio	18,9	B - Conv	CB-10	Vila 7 de Julho	30,24	A4 - Conv
						FP	D _{CONTRATADA}
						0,94	35
CB-03	R. Pres. Kennedy	5,67	B - Conv	CB-11	Bairro São Cristóvão	30,24	A4 - Conv
						FP	D _{CONTRATADA}
						0,97	40
CB-04	Bairro Navegantes	37,8	A4 - Conv	CB-12	Bairro Coxilha Seca	3,78	B - Conv
		FP	D _{CONTRATADA}				
		0,95	43				
CB-06	Bairro São Luiz	37,8	A4 - Conv	CB-13	Loteamento M.R.	11,34	B - Conv
		FP	D _{CONTRATADA}				
		0,96	55				
CB-07	Bairro Santa Maria	3,02	B - Conv				

A partir deste levantamento em campo, obteve-se a caracterização de cada elevatória e sua operação. Na captação de água bruta, são utilizados dois conjuntos motor-bomba trabalhando simultaneamente. No restante das elevatórias é utilizado somente um conjunto em operação, deixando assim, um para uma eventual emergência. Nestas estações é realizado um “rodízio” de operação, onde cada conjunto é programado para funcionar um período de tempo. Finalizando este tempo, o motor que estava desligado entra em operação.

Para alcançar os objetivos previstos para este trabalho, foram utilizados somente as estações elevatórias enquadradas como alta tensão; os conjuntos de baixa tensão não foram levados em consideração em virtude de consumirem apenas 7% de energia do

sistema. Como a captação está ligada automaticamente ao período de funcionamento da ETA, onde trabalha das 5:00 às 22:00 horas, ficaria inviável o seu desligamento no horário de ponta, descartando assim esta elevatória. As casas de bombas escolhidas para aplicar a metodologia foram a CB-04, CB-06, CB-09, CB-10 e CB-11. O levantamento dos dados foi realizado em uma visita ao sistema em estudo, no mês de julho de 2008.

5.3 SETORIZAÇÃO

Para cada elevatória, foi levantado o setor abastecido e analisado a disposição de dados, ou seja, os macromedidores compreendidos em cada região atendida pelo conjunto motor-bomba. Utilizando o diagrama do sistema, foram levantados os setores e os reservatórios à jusante de cada estação elevatória.

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam o setor estabelecido como CB-04. Esta região é dividida em três localidades distintas (Navegantes, Alvorada e Caravagio). Em cada entrada do bairro consumidor há um macromedidor, delimitando assim o setor.

A reservação de água neste setor se faz através de dois reservatórios, R-04 e R-05, o R-04' é um reservatório com finalidade de reduzir a pressão elevada para a localidade de Navegantes. Para o cálculo do volume útil do setor, levou-se em conta somente o volume do reservatório à jusante da estação elevatória, R-04.

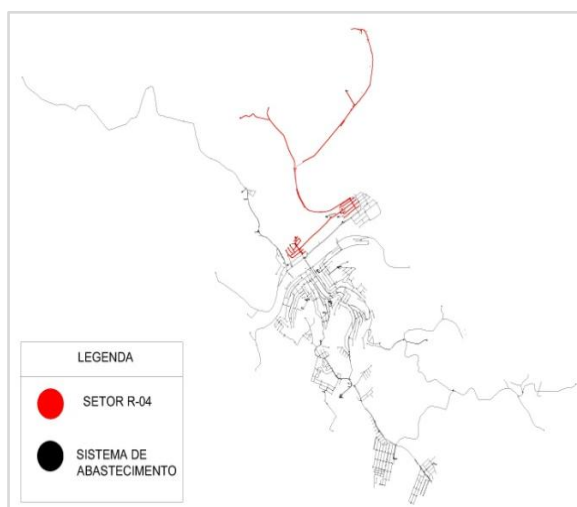


Figura 5.5 – Localização do setor da CB-04.

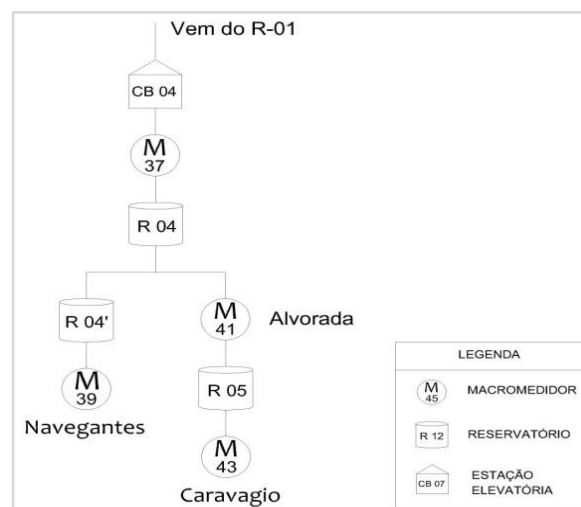


Figura 5.6 - Diagrama do setor da CB-04.

A estação elevatória CB-06 está localizada junto à ETA, fazendo a sucção diretamente dos reservatórios à jusante da estação. O setor compreendido por esta elevatória, está localizado no município de Capinzal e compreende as localidades de São Luiz, Subestação e Jacob Domini. Neste setor existem dois reservatórios: um principal (R-06) e um reservatório de sobra (R-06'). O funcionamento da elevatória é controlado através do R-06', quando o nível deste reservatório chega ao seu valor mínimo é acionado o conjunto motor-bomba que faz a adução enviando uma parte do volume ao R-06 e a sobra para o R-06'. A localização e o setor estão representados pelas figuras 5.7 e 5.8.

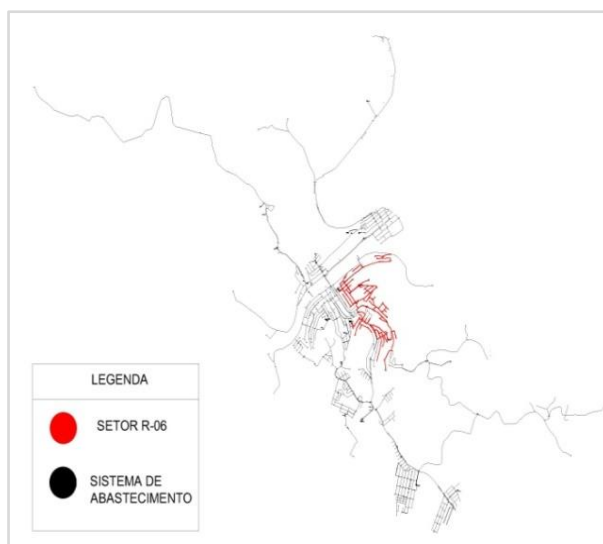


Figura 5.7 - Diagrama do setor da CB-06.

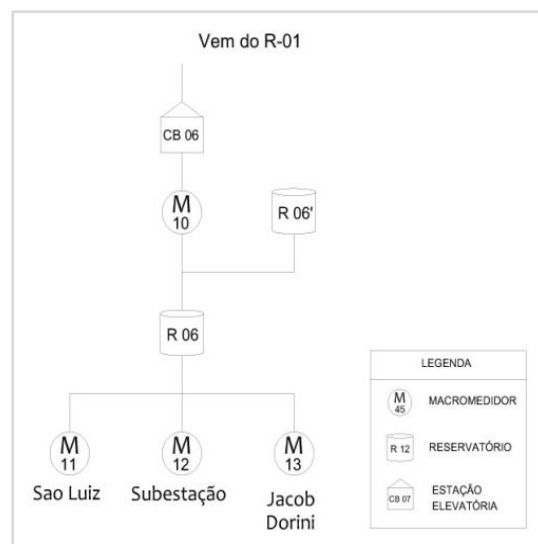


Figura 5.8 – Localização do setor da CB-06.

O setor da CB-09 (Figura 5.9) é compreendido pelo somatório dos setores CB-10, CB-11 e mais o consumo da localidade do Loteamento Arco Íris. Esta elevatória fica encarregada de elevar água para a parte mais alta do município, denominada Cidade Alta.

A sucção do conjunto motor-bomba 09 (Figura 5.11) é feita diretamente do reservatório R-01, mas diferentemente da CB-06, não está ao lado da ETA, estando no ponto mais baixo entre o R-01 e o R-09. A estação eleva a água até o R-09, onde uma pequena parte do volume de água é consumida pela região do macromedidor 17.

A maior parte da água do R-09 é succionada pela CB-10 (Figura 5.12) e recalçada até o R-10. Este reservatório atende diretamente 5 localidades e 4 regiões

indiretamente, de acordo com a Figura 5.10. Outra singularidade desta elevatória, é a presença de 2 casas de bombas ligadas junto ao sistema de distribuição, CB-11 e CB-13, esta última não irá ser abordada neste trabalho devido à baixa carga instalada.

A CB-11 succiona diretamente na distribuição do setor do R-10 e realiza adução até os R-Parizotto e R-11. Esta operação é igual ao do CB-06, onde parte do volume aduzido de água vai para o R-Parizotto e a sobra para o R-11, sendo este o reservatório de maior elevação do sistema de Capinzal/Ouro.

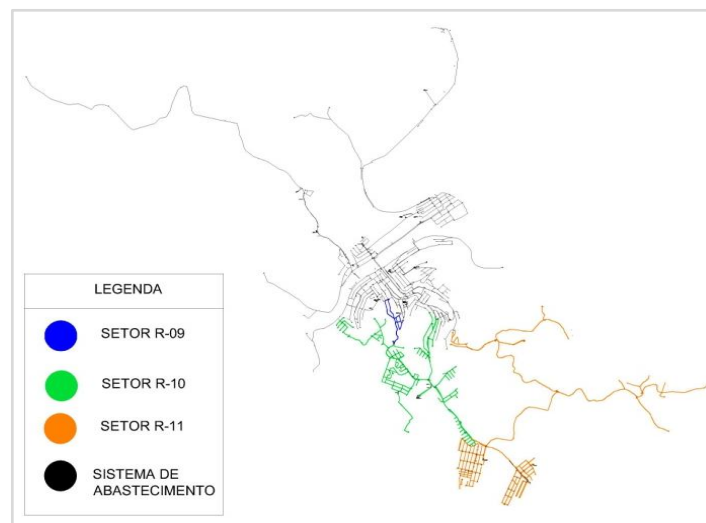


Figura 5.9 - Localização dos setores da CB-09, CB-10 e CB-11.

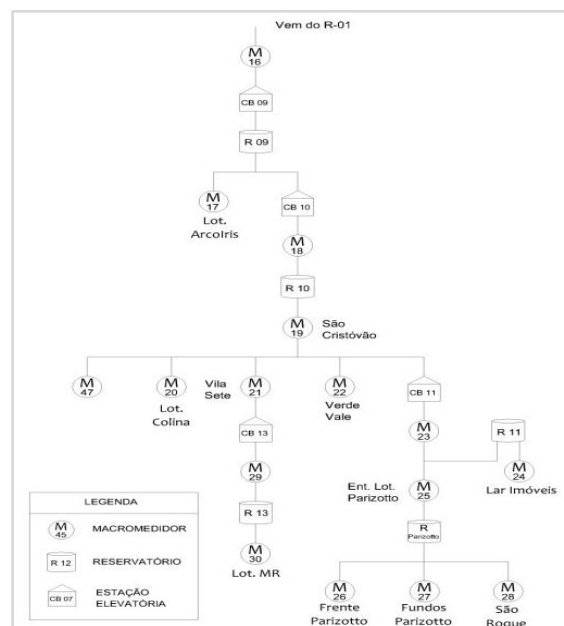


Figura 5.10 - Diagrama dos setores da CB-09, CB-10 e CB-11.



Figura 5.11 – Estação elevatória CB-09.



Figura 5.12 – Estação elevatória CB-10.

Os setores foram estabelecidos pelo reservatório principal de cada região, utilizando o mesmo sistema de controle da parte comercial da SIMAE Capinzal/Ouro.

Na Tabela 5.3 a seguir, são apresentados os setores relacionados com os macromedidores de distribuição.

Tabela 5.3 - Determinação dos setores analisados.

Setor	Região Distribuição
R-04	Navegantes Caravagio Alvorada
R-06	São Luiz Subestação Jacob Dorini
R-09	Lot. Arco Íris
R-10	Lot. MR Lot. Viacelli Lot. Colina Vila Sete São Cristóvão Verde Vale
R-11	Lar Imóveis Parizoto Frente Parizoto Fundos São Roque

5.4 DIAGNÓSTICO

A primeira etapa do diagnóstico foi realizada com uma visita ao município de Capinzal, onde foi feito o reconhecimento do sistema de abastecimento, levantamento das propriedades das estações elevatórias, aspectos físicos dos reservatórios e extração de dados do sistema supervisorio da SIMAE.

Para realizar o diagnóstico das estações elevatórias estudadas neste trabalho, foi utilizado um banco de dados extraídos do sistema do SIMAE Capinzal/Ouro. As informações necessárias para a continuação do trabalho foram:

- Tempo;
- Vazão nos macromedidores;
- Níveis dos reservatórios;

- Tensão e corrente nas elevatórias;
- Vazão aduzida pelas CB's.

Utilizando o período de julho 2007 a junho de 2008 foi possível fazer um diagnóstico do funcionamento de cada bomba nas estações elevatórias em estudo resultando na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Diagnóstico das estações elevatórias.

Descrição		Potência Média [kW]	Vazão Média [m³]	Altura Geo. [m]	CE [kWh/m³]	CEN [kWh/m³/100m]
CB-04	Bomba 01	43,67	57,31	132,12	0,76	0,58
	Bomba 02	41,10	53,12		0,78	0,59
CB-06	Bomba 01	44,73	46,25	115,30	0,97	0,84
	Bomba 02	44,67	47,29		0,94	0,82
CB-09	Bomba 01	66,69	65,50	156,92	1,04	0,66
	Bomba 02	71,78	62,80		1,18	0,75
CB-10	Bomba 01	33,99	56,44	82,46	0,60	0,74
	Bomba 02	32,72	56,48		0,58	0,71
CB-11	Bomba 01	32,35	55,74	83,52	0,60	0,72
	Bomba 02	32,97	52,45		0,65	0,78

Fazendo uma análise dos dados obtidos, constatou-se que os dois conjuntos motor-bomba instalados nas elevatórias trabalham com uma potência e vazão muito próximas uma do outra. A exceção deste desempenho está na CB-09, onde o conjunto motor-bomba 01, tem um rendimento maior do que a bomba 02, ou seja, ela consome menos energia elétrica para elevar um volume de água maior.

Utilizando o indicador de consumo energético – CE, a estação elevatória seria a unidade consumidora com o maior consumo de energia para elevar 1 m³ de água, o conjunto com o menor consumo fica com a estação CB-10. Como este indicador não possibilita a comparação entre outras estações elevatórias é necessário a sua normalização com a sua respectiva elevação.

Segundo ALEGRE *et al* (2000), o indicador de consumo energético normalizado - CEN tem como referência o valor de 0,5 kWh/m³ para 100 m; os valores obtidos para as

estações elevatórias analisadas estão acima do valor de referência da IWA. Podendo realizar uma comparação entre os indicadores, a estação elevatória com o pior desempenho fica sendo a CB-06, a qual consome 0,84 kW para elevar 1 m³ de água em 100 m. Com a normalização, o consumo do conjunto motor-bomba CB-09, passou de 1,18 kW/m³/100m para 0,75 kW/m³/100m, ficando dentro da média das estações elevatórias analisadas.

5.5 SISTEMA DE BOMBEAMENTO-RESERVAÇÃO

O estudo de viabilidade para o desligamento total ou parcial no período de ponta, dos grupos de bombas nas elevatórias, requer o conhecimento prévio do volume útil do reservatório, da evolução do consumo setorial, das características hidráulicas das bombas e da forma de operação e do controle atual (TSUTIYA, 2005).

Através da comparação entre o volume necessário no horário de ponta, o volume útil de reservação e o volume aduzido pelas bombas, é possível obter conclusões sobre a possibilidade do desligamento do conjunto neste período.

O volume útil do reservatório corresponde ao volume “requerido” pelo setor, ou seja, é o volume que o reservatório deveria possuir de maneira a atender plenamente o setor, sem que houvesse falta de água por insuficiência de reservação. Para a determinação da curva de consumo dos setores, foram utilizados os dados de consumo obtidos através da telemetria do sistema.

O período em estudo foi de julho de 2007 a junho de 2008, onde primeiramente foi realizada uma análise para obter o mês de maior consumo neste período, utilizando os dados da micromedição, tendo como resultado o gráfico da Figura 5.13.

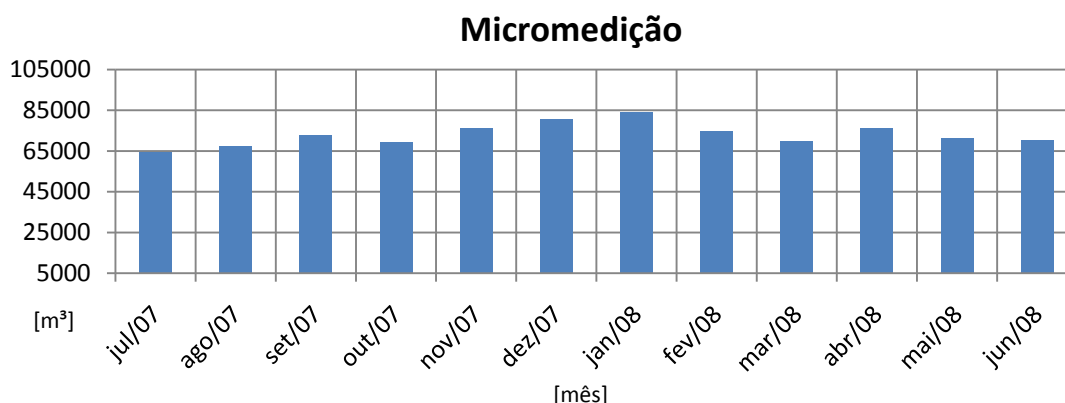


Figura 5.13 - Volumes micromedidos entre Julho/2007 a Junho/2008.

Fonte: SIMAE Capinzal/Ouro.

Após a análise deste gráfico, conclui-se que o mês de maior consumo no período foi em janeiro de 2008, totalizando um valor em torno de 85.000 m³ de água. Posteriormente procurou-se o dia de maior consumo dentro do mês de janeiro, conforme o gráfico da Figura 5.14.

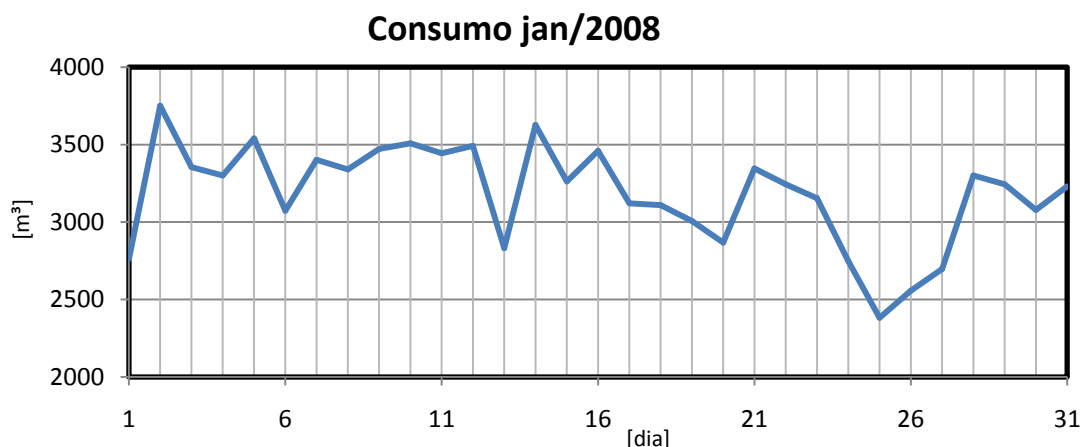


Figura 5.14 - Volume de água consumido durante o mês de Janeiro/2008.

O dia de maior consumo no mês de janeiro de 2008 foi o dia 2, com quase 3.800 m³ de água consumida durante o período. A partir do dia de maior consumo no mês de maior micromedição, foi levantado as curvas de vazão para cada elevatória. Utilizando estes valores, foi encontrado o volume diário consumido correspondente a cada setor da elevatória em análise.

A reservação necessária nos horários de ponta foi determinada utilizando-se as curvas de consumo, definindo-se como sendo o volume necessário no horário de ponta,

todo o volume que estiver abaixo da curva de demanda no horário das 18h30min e 21h30min.

O estudo baseou-se na comparação do volume necessário para suprir a demanda no horário de ponta de consumo de energia com a capacidade útil do reservatório. Para tornar possível o desligamento das bombas em todo o período de ponta, é condição obrigatória que o volume necessário para suprir o abastecimento do setor no horário de ponta seja inferior ou igual ao volume útil do reservatório.

Verificada esta condição, determina-se a vazão de adução necessária para garantir o abastecimento ao longo do dia, sem que haja falta d'água no setor. Com as vazões determinadas, pode-se fazer uma análise dos custos de eletricidade gerados com ou sem paralisação das bombas no horário de ponta.

5.6 VOLUME ÚTIL EM OPERAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

O volume para atender às variações diárias de consumo é denominado volume útil. Esse volume é compreendido entre o nível máximo (maior volume que pode ser atingido em condições normais de operação) e o nível mínimo (correspondente à lâmina necessária para evitar vórtices, cavitação e arraste de sedimentos do fundo do reservatório, além de uma reserva para uma eventual emergência e uma margem de erro nas medições) (TSUTIYA 2005). Para o levantamento do volume útil de operação do reservatório, foi utilizado a capacidade física de reserva e o nível mínimo de operação da estação elevatória, conforme a Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Volumes operacionais dos reservatórios.

Reservatório	Capacidade [m ³]	Nível Mín. [%]	Nível Max. [%]
RS-04	500	80	100
RS-06	500	80	100
RS-09	50	20	90
RS-10	600	90	98
RS-11	400	80	100

Fonte: SIMAE Capinzal/Ouro.

5.7 CURVAS DE CONSUMO

A partir do dia de maior consumo durante o período de um ano de análise de dados, foi obtida a variação do consumo diário para cada setor analisado. O setor estabelecido, junto com o seu diagrama, foi de fundamental importância para a realização da purga dos valores das vazões instantâneas.

Os setores CB-04 e CB-06 são independentes de outras elevatórias, cujo volume de água aduzido pelo conjunto motor-bomba não necessita de mais energia para chegar ao consumidor final, equivalendo ao setores do R-04 e R-06, respectivamente.

Ao contrário, os setores das CB's 09 e 10 estão interligados, resultando na dependência direta de outra estação. Como a CB-11 está na ponta do setor, o consumo de água não leva interferência de nenhuma outra elevatória, estando independente do sistema. A seguir é demonstrado as estações elevatórias relacionadas com os seus respectivos setores:

CB-04 = R-04

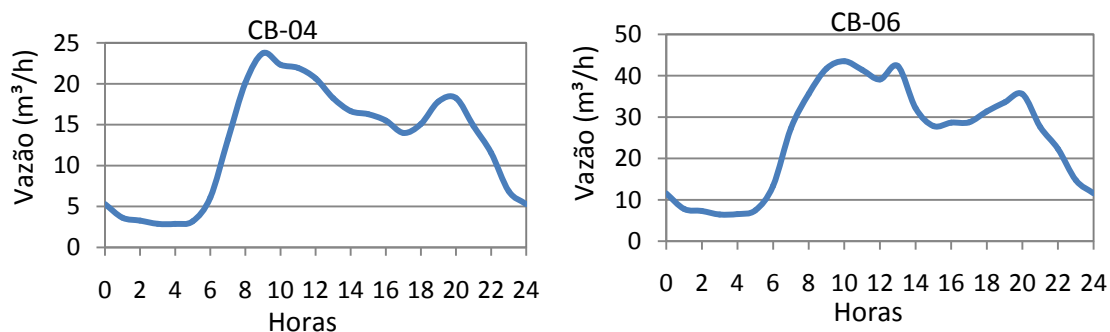
CB-06 = R-06

CB-09 = R-09 + R-10 + R-11

CB-10 = R-10 + R-11

CB-11 = R-11

Com os setores estabelecidos, foram extraídos os dados da macromedição encontrando assim as curvas da variação horária do consumo em cada setor, apresentados na Figura 5.15.



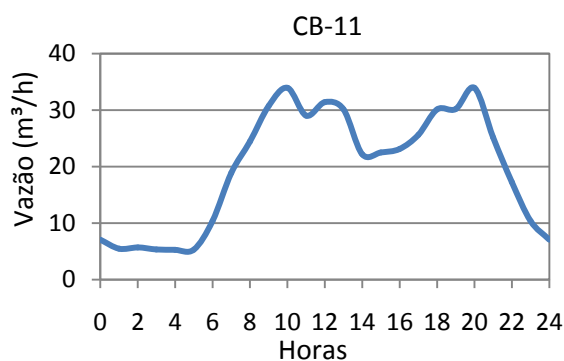


Figura 5.15 - Curvas da variação horária dos consumos nos setores das elevatórias 04, 06 e 11.

Devido aos setores R-04, R-06 e R-11 serem independentes, a curva de consumo da elevatória é igual ao consumo dos seus respectivos reservatórios.

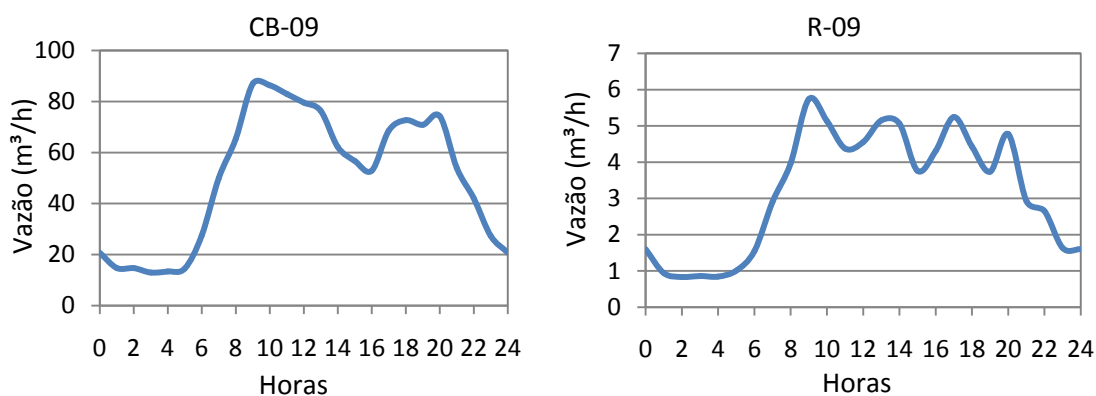


Figura 5.16 - Curvas de consumo horário na CB-09 e setor R-09.

Como o setor da CB-09 sofre interferências de outros setores, foram levantadas as curvas de consumo para o setor R-09 (Figura 5.16), este influenciado somente pela região compreendida pelo Loteamento Arco Íris.

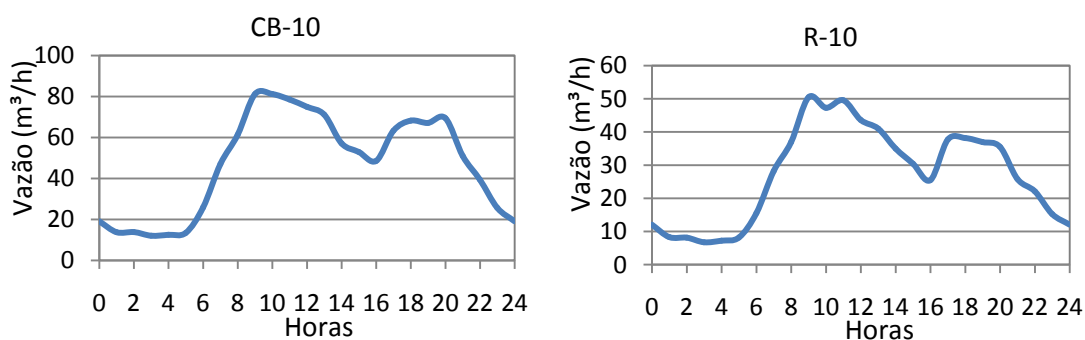


Figura 5.17 - Curvas de consumo horário da CB-10 e setor R-10.

Devido ao setor da CB-10 sofrer a interferência do setor R-11, foram elaboradas duas curvas, uma para a elevatória CB-10 e outra para o setor R-10, segundo a Figura 5.17.

5.8 DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÚTIL NO SISTEMA

Com o levantamento das curvas de consumo, é determinado o volume consumido no dia através do somatório dos volumes. O volume útil do reservatório é calculado através dos volumes diferenciais que resultam da diferença entre o volume de adução e o volume de distribuição, sendo positivo quando o volume de alimentação é maior que o volume de distribuição e negativo, caso contrário (TSUTIYA, 2006).

Através do volume consumido obtido para cada setor no dia, foi determinada a vazão mínima necessária de adução para 21 horas, devido à paralisação das estações elevatórias no horário de ponta.

Para a determinação do volume necessário para os setores R-09 e R-10 no horário de ponta, foi utilizada a curva de consumo diário para cada reservatório junto à vazão de adução mínima necessária para a CB-09 e CB-10, respectivamente. Sendo assim, o volume necessário no horário de ponta é equivalente ao volume útil, para esta situação.

O somatório da diferença entre os volumes de adução e os volumes de consumo calculados para cada setor, representa o volume mínimo necessário de reservação para atender o dia de maior consumo de água durante o ano levantado. O somatório desta diferença no horário de ponta, das 18h30min às 18h30min, compreende o volume mínimo necessário para atender a demanda neste período. Os valores encontrados nesta análise estão apresentados nas Tabelas 5.6 a 5.12, junto com seus respectivos gráficos.

Tabela 5.6 – Consumo diário, na ponta e vazão de adução na CB-04.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]	
1	5,28	14,96	9,68	
2	3,62	14,96	11,34	
3	3,27	14,96	11,69	
4	2,87	14,96	12,09	
5	2,87	14,96	12,09	
6	3,19	14,96	11,77	
7	6,10	14,96	8,86	
8	13,14	14,96	1,82	
9	20,14	14,96		-5,18
10	23,74	14,96		-8,78
11	22,33	14,96		-7,37
12	21,93	14,96		-6,97
13	20,65	14,96		-5,69
14	18,24	14,96		-3,28
15	16,65	14,96		-1,69
16	16,27	14,96		-1,31
17	15,50	14,96		-0,54
18	13,99	7,48		-6,51
18,5	6,92	0,00		-6,92
19	8,14	0,00		-8,14
20	17,82	0,00		-17,82
21	18,24	0,00		-18,24
21,5	8,22	7,48		-0,74
22	6,61	14,96	8,35	
23	11,57	14,96	3,39	
24	6,86	14,96	8,10	

Total [m³] 314,15 314,15 99,17 -99,17

V _{DIÁRIO} [m³]	314,15
V _{UTIL} [m³]	99,17
V _{PONTA} [m³]	51,12
Q _{ADU} [m³/h]	14,96

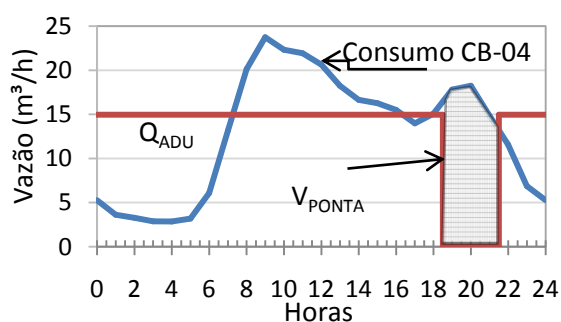


Tabela 5.7 – Consumo diário, na ponta e vazão de adução na CB-06.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]	
1	11,58	29,26	17,68	
2	7,80	29,26	21,46	
3	7,33	29,26	21,93	
4	6,46	29,26	22,80	
5	6,57	29,26	22,69	
6	7,48	29,26	21,78	
7	13,37	29,26	15,89	
8	27,27	29,26	1,99	
9	35,65	29,26		-6,40
10	41,76	29,26		-12,50
11	43,52	29,26		-14,26
12	41,45	29,26		-12,19
13	39,12	29,26		-9,86
14	42,38	29,26		-13,12
15	32,18	29,26		-2,92
16	27,86	29,26	1,40	
17	28,69	29,26	0,57	
18	28,77	14,63		-14,14
18,5	14,74	0,00		-14,74
19	16,64	0,00		-16,64
20	33,58	0,00		-33,58
21	35,58	0,00		-35,58
21,5	15,67	14,63		-1,04
22	11,96	29,26	17,30	
23	22,32	29,26	6,94	
24	14,73	29,26	14,53	

Total [m³] 614,43 614,43 186,96 -186,96

V _{DIÁRIO} [m³]	614,43
V _{UTIL} [m³]	186,96
V _{PONTA} [m³]	100,53
Q _{ADU} [m³/h]	29,26

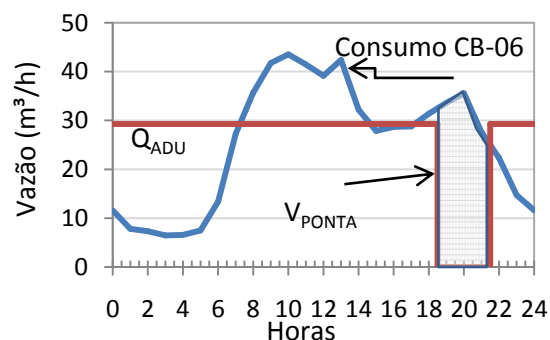


Tabela 5.8 – Consumo diário, na ponta e vazão média na CB-11.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]	
1	7,07	23,04	15,97	
2	5,48	23,04	17,56	
3	5,71	23,04	17,33	
4	5,35	23,04	17,68	
5	5,28	23,04	17,75	
6	5,33	23,04	17,71	
7	10,39	23,04	12,65	
8	18,88	23,04	4,15	
9	24,45	23,04		-1,42
10	30,75	23,04		-7,72
11	33,94	23,04		-10,90
12	29,03	23,04		-6,00
13	31,41	23,04		-8,37
14	30,15	23,04		-7,12
15	22,20	23,04	0,84	
16	22,50	23,04	0,53	
17	23,13	23,04		-0,09
18	25,64	11,52		-14,12
18,5	14,50	0,00		-14,50
19	15,63	0,00		-15,63
20	30,20	0,00		-30,20
21	33,93	0,00		-33,93
21,5	13,81	11,52		-2,29
22	11,36	23,04	11,68	
23	17,27	23,04	5,77	
24	10,39	23,04	12,65	

Total [m³] 483,79 483,79 152,28 -152,28

V _{DIÁRIO} [m³]	483,79
V _{UTIL} [m³]	152,28
V _{PONTA} [m³]	94,26
Q _{ADU} [m³/h]	23,04

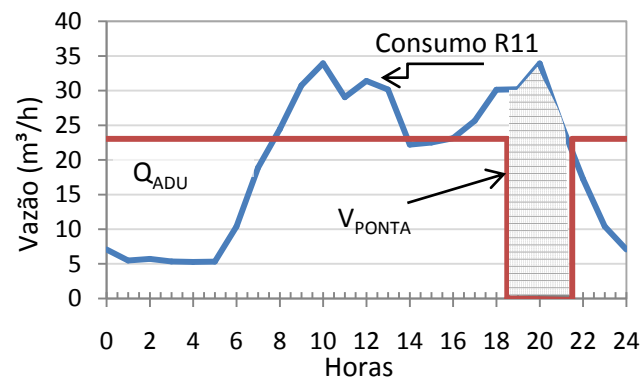


Tabela 5.9 – Consumo diário, de ponta e vazão de adução para a situação I na CB-09.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]
1	20,70	58,45	37,75
2	14,74	58,45	43,71
3	14,68	58,45	43,77
4	12,95	58,45	45,50
5	13,36	58,45	45,09
6	14,53	58,45	43,92
7	27,45	58,45	31,00
8	50,03	58,45	8,42
9	65,38	58,45	-6,93
10	86,95	58,45	-28,50
11	86,34	58,45	-27,89
12	82,97	58,45	-24,52
13	79,57	58,45	-21,12
14	76,31	58,45	-17,86
15	62,23	58,45	-3,78
16	56,70	58,45	1,75
17	52,91	58,45	5,54
18	68,59	29,23	-39,36
18,5	35,35	0,00	-35,35
19	37,35	0,00	-37,35
20	70,88	0,00	-70,88
21	74,22	0,00	-74,22
21,5	30,19	29,23	-0,97
22	23,73	58,45	34,73
23	42,04	58,45	16,41
24	27,29	58,45	31,16

Total [m³] 1227,45 1227,45 388,73 -388,73

V _{DIÁRIO} [m³]	1227,45
V _{UTIL} [m³]	388,73
V _{PONTA} [m³]	217,80
Q _{ADU} [m³/h]	58,45

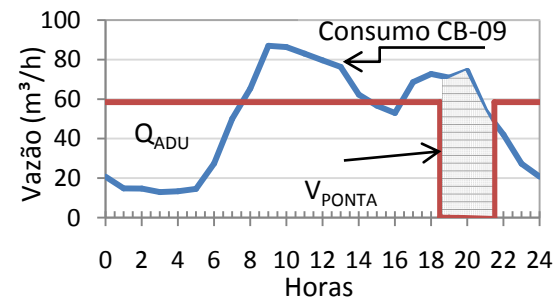


Tabela 5.10 – Consumo diário, de ponta e vazão de adução para situação II na CB-09.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]
1	1,60	58,45	56,85
2	0,94	58,45	57,51
3	0,83	58,45	57,62
4	0,86	58,45	57,59
5	0,84	58,45	57,61
6	1,01	58,45	57,44
7	1,55	58,45	56,90
8	2,91	58,45	55,54
9	3,97	58,45	54,48
10	5,73	58,45	52,72
11	5,13	58,45	53,32
12	4,38	58,45	54,08
13	4,55	58,45	53,90
14	5,15	58,45	53,30
15	5,06	58,45	53,39
16	3,76	58,45	54,69
17	4,31	58,45	54,14
18	5,24	29,23	23,98
18,5	2,38	0,00	-2,38
19	2,05	0,00	-2,05
20	3,73	0,00	-3,73
21	4,77	0,00	-4,77
21,5	1,61	29,23	27,62
22	1,32	58,45	57,13
23	2,65	58,45	55,80
24	1,63	58,45	56,82

Total [m³] 77,95 1227,45 1162,43 -12,93

V _{DIÁRIO} [m³]	77,95
V _{UTIL} [m³]	12,93
V _{PONTA} [m³]	12,93
Q _{ADU} [m³/h]	58,45

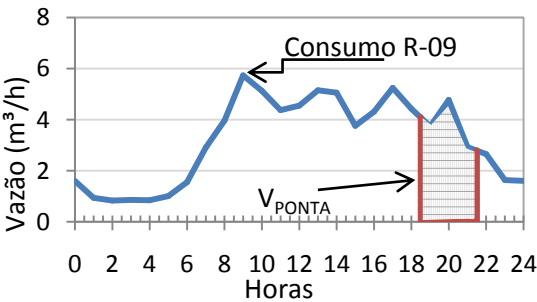


Tabela 5.11 - Consumo diário, de ponta e vazão de adução para a situação I na CB-10.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]	
1	19,10	54,74	35,63	
2	13,80	54,74	40,94	
3	13,85	54,74	40,89	
4	12,10	54,74	42,64	
5	12,52	54,74	42,22	
6	13,52	54,74	41,22	
7	25,90	54,74	28,83	
8	47,13	54,74	7,61	
9	61,41	54,74		-6,67
10	81,22	54,74		-26,48
11	81,21	54,74		-26,47
12	78,59	54,74		-23,85
13	75,02	54,74		-20,28
14	71,16	54,74		-16,42
15	57,17	54,74		-2,43
16	52,94	54,74	1,80	
17	48,60	54,74	6,13	
18	63,35	27,37		-35,98
18,5	32,98	0,00		32,98
19	35,30	0,00		-35,30
20	67,15	0,00		-67,15
21	69,45	0,00		-69,45
21,5	28,58	27,37		-1,21
22	22,41	54,74	32,33	
23	39,39	54,74	15,35	
24	25,66	54,74	29,08	
Total [m³]	1149,50	1149,50	364,68	-364,68

V _{DIÁRIO} [m³]	1149,50
V _{UTIL} [m³]	364,68
V _{PONTA} [m³]	204,87
Q _{ADU} [m³/h]	54,74

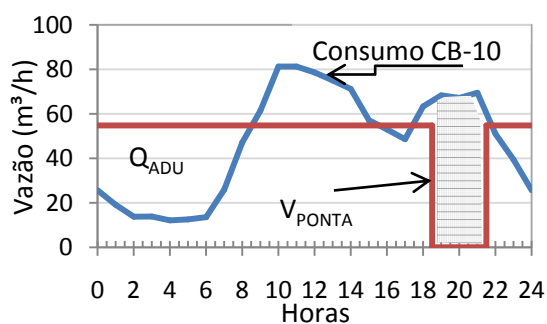
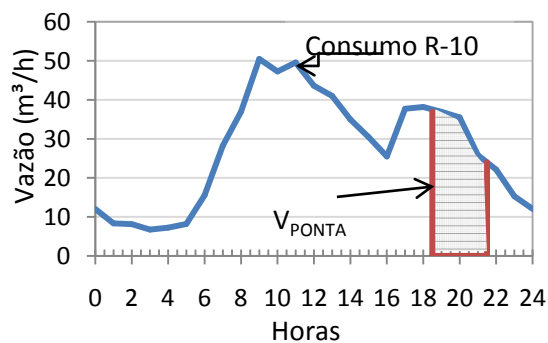


Tabela 5.12 - Consumo diário, de ponta e vazão de adução para a situação II na CB-10.

Hora	V _{DIST} [m³]	V _{ADU} [m³]	V _{ADU} -V _{DIST} [m³]	
1	12,04	54,74	42,70	
2	8,32	54,74	46,42	
3	8,14	54,74	46,60	
4	6,74	54,74	48,00	
5	7,24	54,74	47,50	
6	8,19	54,74	46,55	
7	15,52	54,74	39,22	
8	28,24	54,74	26,50	
9	36,96	54,74	17,78	
10	50,47	54,74	4,27	
11	47,27	54,74	7,47	
12	49,56	54,74	5,18	
13	43,61	54,74	11,13	
14	41,00	54,74	13,74	
15	34,98	54,74	19,77	
16	30,44	54,74	24,30	
17	25,48	54,74	29,26	
18	37,70	27,37		-10,33
18,5	18,48	0,00		-18,48
19	19,68	0,00		-19,68
20	36,94	0,00		-36,94
21	35,52	0,00		-35,52
21,5	14,78	27,37	12,60	
22	11,05	54,74	43,69	
23	22,12	54,74	32,62	
24	15,27	54,74	39,47	
Total [m³]	665,70	1149,54	604,78	-120,94

V _{DIÁRIO} [m³]	665,70
V _{UTIL} [m³]	110,61
V _{PONTA} [m³]	110,61
Q _{ADU} [m³/h]	54,74



5.9 VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE VOLUME E VAZÃO

Para a viabilização do desligamento dos conjuntos motor-bomba no horário de ponta é necessário que o nível/volume mínimo em operação seja maior que o volume consumido no horário de ponta acrescido do volume mínimo de segurança, 20 % do volume de ponta.

$$(1,20 \times V_{\text{PONTA}}) \leq V_{\text{MIN OPERAÇÃO}} \quad (5.1)$$

Os níveis de operação calculados para cada reservatório, poderão maximizar a utilização da capacidade de reserva para cada setor. O nível operacional da elevatória seria o volume consumido no horário de ponta adicionado do volume mínimo de segurança; a operação da elevatória durante o período fora de ponta deverá utilizar esse nível mínimo. No período de desligamento das elevatórias, o nível mínimo de operação passaria para o nível mínimo de segurança, este garantindo que o reservatório não “seque” durante este período. A Figura 5.18 representa os níveis de operação dos reservatórios.



Figura 5.18 – Níveis operacionais dos reservatórios.

Obtendo a vazão necessária de adução para o maior dia de consumo anual, fez-se a comparação com a menor vazão aduzida entre os conjuntos motor-bomba de cada estação elevatória, ou seja, o mais desfavorável. A verificação da condição de adução se faz através de:

$$Q_{\text{ADU}} \leq Q_{\text{BOMBA DESFAVORÁVEL}} \quad (5.2)$$

Tabela 5.13 - Verificação das condições de paralisação das elevatórias em horário de ponta.

SETOR	V _{NOMINAL}	V _{MINIMO EM OPERAÇÃO}		V _{MINIMO NECESSÁRIO (1,20 X V_{PONTA})}		Verificação da condição	Q _{NECESSARIA}		Q _{BOMBA DESFAVORÁVEL}		Verificação da condição
	[m³]	[m³]	[%]	[m³]	[%]		[m³/h]		[m³/h]	[%]	
R-04	500	400	80%	61,34	12%	OK!	14,96		53,12	28%	OK!
R-06	500	400	80%	120,64	24%	OK!	29,26		46,25	63%	OK!
R-09	50	10	20%	15,16	30%	NÃO!	58,45		62,80	93%	OK!
R-10	600	540	90%	132,73	22%	OK!	54,74		56,44	97%	OK!
R-11	400	360	80%	113,11	28%	OK!	23,04		52,45	44%	OK!

A Tabela 5.13 apresenta a verificação da viabilidade de desligamento dos conjuntos motor-bomba em estudo. Para a maioria dos setores analisados, tendo como exceção a CB-09, é possível realizar o desligamento devido aos reservatórios terem o nível mínimo de operação maior do que o volume mínimo necessário no horário de ponta. A única alternativa negativa deve-se à operação da CB-09, onde o seu acionamento ocorre quando o R-09 alcança o nível de 20%, equivalente a 10 m³ de água. A necessidade mínima de reservação para o consumo no horário de ponta é de 30%, 15,16 m³ de água, ou seja, se ocorrer a modificação do nível mínimo de acionamento nesta elevatória, existe a possibilidade do desligamento desta casa de bomba.

Os níveis mínimos operacionais em funcionamento poderiam ser modificados para os níveis mínimos necessários na ponta, garantindo assim um melhor aproveitamento dos volumes úteis nos reservatórios e de otimização do acionamento dos conjuntos motor-bomba.

Como no caso da CB-09 existiria a necessidade de aumentar este nível, no qual já é utilizado um nível mínimo ótimo, estaríamos regredindo em termos de eficiência energética, em que o volume útil dos reservatórios não seriam aproveitados adequadamente. Entretanto, como a aplicação da eficiência energética neste trabalho tem como objetivo reduzir a carga utilizada no horário de pico de demanda de energia, essa otimização garantiria uma eficácia maior.

Em outro aspecto analisado, o conjunto motor-bomba deverá atender a vazão mínima de adução no sistema. Através da Tabela 5.13 acima, pode-se ter noção de que as CB's 9 e 10 já estarão entrando em funcionamento nos seus limites, 93% e 97%.

Nesta situação a ocorrência de ativação das elevatórias em horários de ponta é bem maior, podendo aumentar os custos ao invés de diminuir.

5.10 CONSUMO DE ENERGIA

Nesta etapa foi calculado o tempo necessário para que o conjunto motor-bomba eleve o volume total de água consumida no dia e no mês analisado.

Para cada setor avaliado, fez-se o levantamento para saber qual o conjunto que esteve em operação no mês em estudo. Localizando o conjunto motor-bomba que operou, obtêm-se a vazão da bomba e a sua potência. Através da Equação 5.3, encontra-se o tempo que a estação elevatória necessitará estar em operação para o recalque do volume consumido no dia.

$$T = \frac{V_{\text{dia}}}{Q_{\text{bomba}}} \quad (5.3)$$

Definindo o tempo de operação do conjunto no dia com a sua potência elétrica, resulta no consumo de energia elétrica durante o período do dia analisado, logo após é calculado o consumo durante o mês. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, somente para as CB's analisadas.

SETOR	BOMBA	V _{DIA}	Q _{BOMBA}	T _{OPERAÇÃO}	P _{BOMBA}	CE _{DIA}	CE _{MES}	CE _{FATURADO} Jan/2008
		[m³]	[m³/h]	[h]	[kW]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
CB-04	01	314,15	57,31	5,48	43,67	239	7.421	7.267
CB-06	CB-06	01	614,43	46,25	13,28	44,73	594	18.421
	ETA	-	-	10,00	11,27	113	3.494	
	SUBTOTAL					707	21.915	21.648
CB-09	01	1.227,45	65,50	18,74	66,69	1.250	38.742	38.212
CB-10	01	1.149,50	56,44	20,37	33,99	692	21.460	21.443
CB-11	02	483,79	52,45	9,22	32,97	304	9.427	9.548
TOTAL						3.192	98.966	98.118

Devido à CB-06 ficar junto da ETA, o consumo nesta unidade é a soma da energia consumida pela estação de tratamento e a estação elevatória. Determinou-se então uma demanda para a estação de tratamento. Fazendo uma comparação entre o consumo obtido durante o mês analisado e as contas de consumo de energia no período de janeiro de 2008, verificou-se valores muito próximos, sustentando assim, os cálculos da metodologia aplicada.

5.11 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E DEMANDA UTILIZADA

Para a constatação das reduções do consumo de energia elétrica e da demanda utilizada com a parada das estações elevatórias em estudo no horário de ponta, foi realizado um levantamento para quantificar o consumo e a demanda de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta no período analisado, janeiro de 2008. A Tabela 5.15 apresenta os valores consumidos sem o desligamento dos conjuntos motor-bomba; já a Figura 5.19 representa o percentual de consumo de energia no horário de ponta e fora de ponta.

Tabela 5.15 – Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta sem o desligamento das elevatórias.

UNIDADE CONSUMIDORA	CONSUMO		DEMANDA UTILIZADA
	FORA DE PONTA	PONTA	
	[kWh]	[kWh]	[kW]
CB-01	34.851	7.625	109
CB-02	4.045	765	20
CB-03	1.823	397	7
CB-04	6.553	714	43
CB-06	13.235	2.405	55
ETA	1.932	828	13
CB-07	91	16	3
CB-09	32.406	5.806	70
CB-10	18.113	3.330	35
CB-11	7.855	1.693	40
CB-12	752	187	4
CB-13	1.170	206	12
TOTAL	122.827	23.972	411

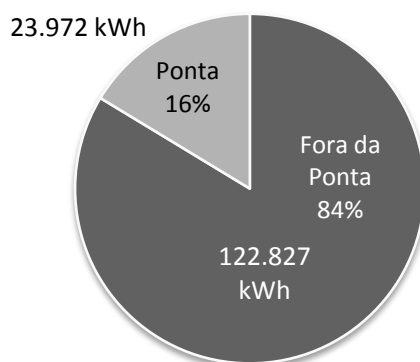


Figura 5.19 - Percentual do consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta.

O consumo de energia no horário de ponta foi de 23.972 kWh, 16% do total, e no horário fora de ponta 122.827 kWh, representando 84% do consumo elétrico no período. A demanda utilizada pelas estações elevatórias totalizaram 441 kW, tanto no horário de ponta como fora de ponta.

A Tabela 5.16 apresenta os valores de consumo e demanda de energia com o desligamento das estações elevatórias em estudo. Já a Figura 5.16 mostra o percentual do consumo de energia no horário de ponta e fora de ponta com a parada dos conjuntos motor-bomba no horário de ponta.

Tabela 5.16 - Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta, com o desligamento das elevatórias.

UNIDADE CONSUMIDORA	CONSUMO		DEMANDA UTILIZADA NA PONTA
	FORA DE PONTA	PONTA	
	[kWh]	[kWh]	[kW]
CB-01	34.851	7.625	109
CB-02	4.045	765	20
CB-03	1.823	397	7
CB-04	7.267	-	-
CB-06	15.641	-	-
ETA	1.932	828	13
CB-07	91	16	3
CB-09	38.212	-	-
CB-10	21.443	-	-
CB-11	9.548	-	-
CB-12	752	187	4
CB-13	1.170	206	12
TOTAL	136.775	10.024	168

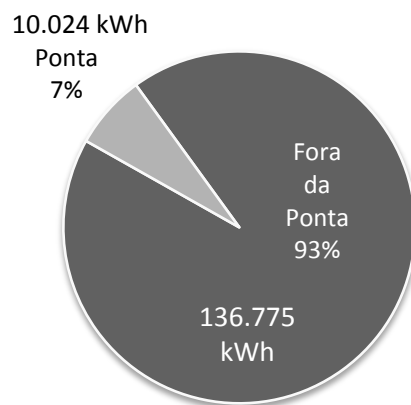


Figura 5.20 - Percentual do consumo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta, com o desligamento das elevatórias.

Com o desligamento das estações elevatórias no horário de ponta, o consumo neste horário reduziu de 23.972 kWh para 10.024 kWh, representando agora 7 % do consumo total de energia. A demanda utilizada no horário de ponta caiu para 168 kW, reduzindo em 59% a demanda consumida neste período; esta redução é representada no Figura 5.21.

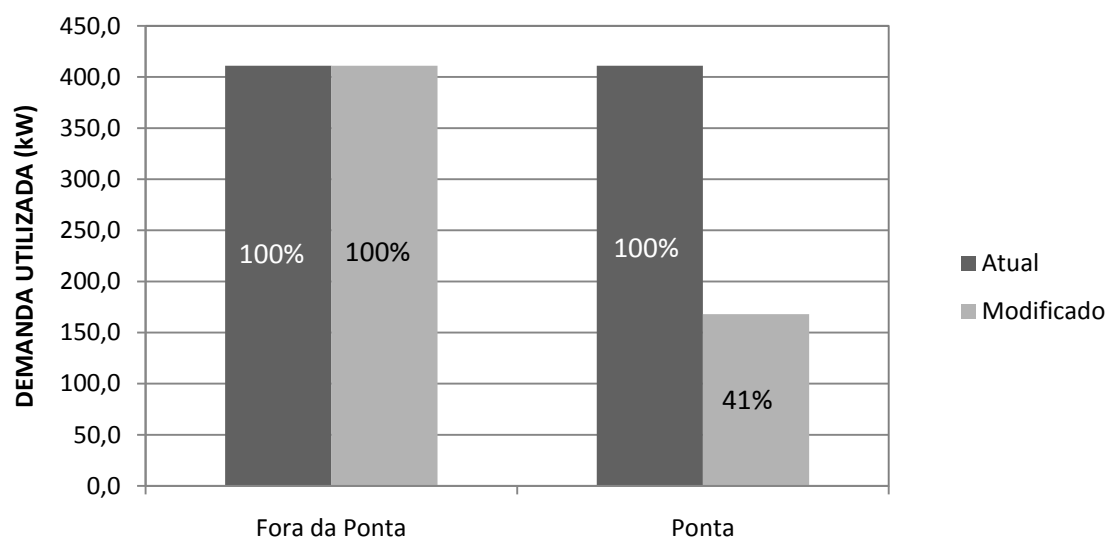


Figura 5.21 - Redução da demanda no horário de ponta com a paralisação das elevatórias.

5.12 CUSTO E VERIFICAÇÃO DA REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

No sistema de abastecimento em estudo, a tarifa contratada para todas as estações elevatórias estão enquadradas como convencional. Foi então realizado um estudo para a obtenção do melhor esquema tarifário para cada casa de bomba, fazendo uma comparação entre os grupamentos tarifários.

Para o cálculo do custo de energia elétrica, foi realizada uma análise entre as tarifas de energia elétrica convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde, utilizando os valores de consumo elétrico durante o mês. Os valores faturados foram obtidos através das equações apresentadas no capítulo anterior.

As tarifas utilizadas neste estudo foram estabelecidas através da Resolução Homologatória Nº 601, 22/01/2008, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, e pela Portaria 001, de 04/01/1996, do Ministério das Minas e Energia. Esta resolução fixa as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição – TUSD, entre o período compreendido de 7 de fevereiro de 2008 a 6 de fevereiro de 2009.

Como o objetivo do estudo é realizar a quantificação da redução dos custos de energia elétrica, adotou-se então, tarifas sem a incidência de impostos e descontos, ou seja, “tarifa bruta”. As tarifas utilizadas são informadas na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Tarifas de consumo e demanda de energia elétrica aplicadas no período entre fev/2008 a fev/2009 pela CELESC.

Fatura Tarifa Convencional			
Horário	CE _{MES} (kWh)	Tarifa	Fatura (R\$)
Consumo B3		0,26386 (R\$/kWh)	
Consumo A4		0,16089 (R\$/kWh)	
Demanda kW		23,82 (R\$/kW)	
		TOTAL	

Fatura Tarifa Azul				
Horário	Sazonalidade	CE _{MES} (kWh)	Tarifa	Fatura (R\$)
Consumo Ponta	Per. Seco		0,240 (R\$/kWh)	
	Per. Úmido		0,217 (R\$/kWh)	
Consumo Fora de Ponta	Per. Seco		0,147 (R\$/kWh)	
	Per. Úmido		0,134 (R\$/kWh)	
Demanda Ponta (kW)			29,73 (R\$/kW)	
Demanda Fora de Ponta (kW)			7,74 (R\$/kW)	
			TOTAL	

Fatura Tarifa Verde				
Horário	Sazonalidade	CE _{MES} (kWh)	Tarifa	Fatura (R\$)
Consumo Ponta	Per. Seco		0,930 (R\$/kWh)	
	Per. Úmido		0,907 (R\$/kWh)	
Consumo Fora de Ponta	Per. Seco		0,147 (R\$/kWh)	
	Per. Úmido		0,134 (R\$/kWh)	
Demanda kW			7,74 (R\$/kW)	
			TOTAL	

Após a análise dos custos para cada elevatória, é feita a comparação entre o custo com o sistema tarifário em vigor, neste caso Convencional, com as tarifas Horosazonais Azul e Verde. Os resultados são apresentados no Tabela 5.18.

O consumo global de energia elétrica no período é de 98.966 kWh e de demanda foi de 243 kW. No caso da utilização da tarifa convencional, a companhia de saneamento estaria pagando um valor de R\$ 21.941,00.

Utilizando o mesmo consumo de energia e demanda, foi levantado quanto seria gasto utilizando as tarifas horosazonais azul e verde, R\$ 15.565,00 e R\$ 15.857,00, respectivamente. A diferença entre os valores das tarifas horosazonais é muito pequena, esta diferença está no consumo de energia no horário de ponta na ETA. O custo de utilização neste período, utilizando a tarifa verde, praticamente dobrou, passando de R\$ 445,00 para R\$ 861,00, resultando em uma elevação de 94%; já o custo utilizando a tarifa azul sofreria uma elevação de 21% em relação à convencional.

Tabela 5.18 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, somente para as CB's analisadas.

SETOR		CE _{MES} [kWh]	Demanda contratada [kW]	Fatura			Redução do custo	
				Convencional [R\$]	Azul [R\$]	Verde [R\$]	Azul [%]	Verde [%]
CB-04		7.421	43	2.218	1.330	1.330	40	40
CB-06	CB-06		18.628	42	3.997	2.827	29	29
	ETA	PONTA	838	13	445	568	-28	-94
		FORA DE PONTA	1.956	13	624	363	42	42
	SUBTOTAL CB-06		21.915	55	5.066	3.759	26	20
CB-09		38.742	70	7.901	5.746	5.746	27	27
CB-10		21.460	35	4.286	3.154	3.154	26	26
CB-11		9.427	40	2.470	1.576	1.576	36	36
TOTAL		98.966	243	21.941	15.565	15.857	29	28

Fazendo uma avaliação da redução por estação elevatória, a maior diminuição dos gastos seria na CB-04, em torno de 40%, a pior redução seria na estação CB-06 devido às suas características de fornecimento de energia. Analisando unicamente a estação elevatória 06, a redução dos custos seria em torno de 29%, R\$ 1.170,00 no mês.

No geral, a utilização do reenquadramento tarifário estaria reduzindo 29% do custo utilizando a tarifa horo-sazonal azul e 28% empregando a verde. Na Figura 5.22 e Figura 5.23, são apresentados a comparação dos custos em cada elevatória e total dos custos nas elevatórias em análise, respectivamente.

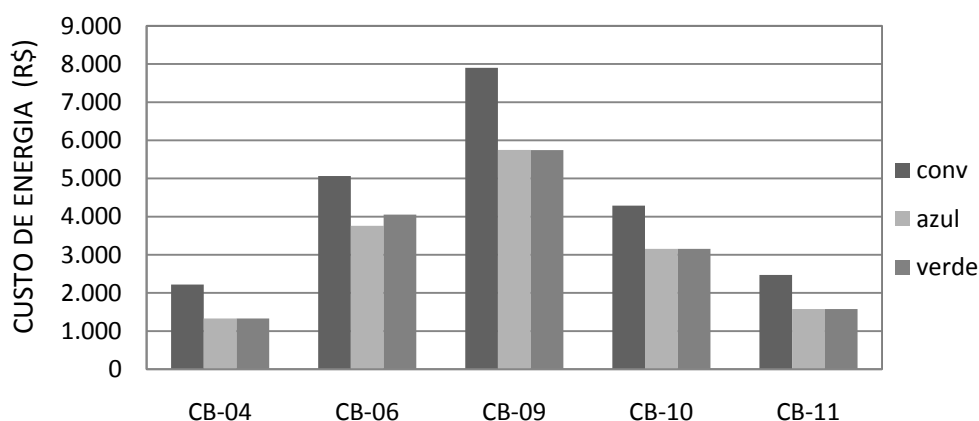


Figura 5.22 - Comparação dos custos de consumo de energia para cada elevatória.

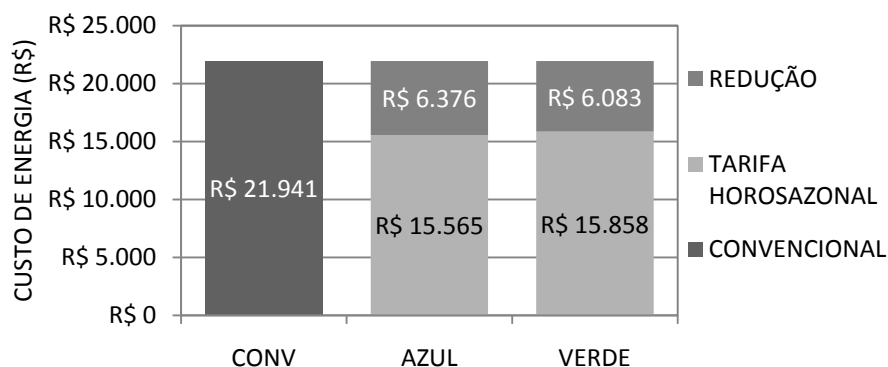


Figura 5.23 - Comparação dos custos de consumo de energia, totalizando as elevatórias em estudo.

5.13 ANÁLISE DA REDUÇÃO TOTAL PARA O MÊS DE JANEIRO DE 2008

Com os dados do consumo de energia elétrica durante o mês de janeiro de 2008, pôde-se fazer uma comparação dos custos com o enquadramento tarifário atual, utilizando a tarifa convencional, com os custos realizando a modificação tarifária para horo-sazonal com a paralisação das estações elevatórias, em estudo, no horário de ponta.

Tabela 5.19 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, em relação ao consumo total de energia no sistema.

SETOR			CE _{MÊS}	Demanda contratada	Fatura			Redução do custo			
					Convencional	HS Azul	HS Verde	HSAzul		HSVerde	
			[Kwh]	[kW]				[R\$]	[R\$]	[R\$]	[R\$]
CB-01			42.476	109	9.430	9.430	9.430	-	-	-	-
CB-02			4.810	-	1.269	1.269	1.269	-	-	-	-
CB-03			2.220	-	586	586	586	-	-	-	-
CB-04			7.267	43	2.193	1.309	1.309	884	40,3	884	40,3
CB-06	CB-06		15.641	42	3.517	2.426	2.426	1.091	31,0	1.091	31,0
	ETA	FORA DE PONTA	1.932	13	311	260	260	51	16,5	51	16,5
		PONTA	828	13	443	586	852	-143	-32,2	-409	-92,4
	SUBTOTAL CB-06		18.401	55	4.271	3.271	3.538	999	23,4	733	17,2
CB-07			107	-	28	28	28	-	-	-	-
CB-09			38.212	70	7.815	5.675	5.675	2.140	27,4	2.141	27,4
CB-10			21.443	35	4.284	3.151	3.151	1.132	26,4	1.132	26,4
CB-11			9.548	40	2.489	1.592	1.592	897	36,0	897	36,0
CB-12			939	-	248	248	248	-	-	-	-
CB-13			1.376	-	363	363	363	-	-	-	-
TOTAL			146.799	243	32.976	26.923	27.189	6.053	18,4	5.787	17,5

A redução dos custos, para o sistema em geral no período de janeiro de 2008, foi 18,4% utilizando a tarifa horo-sazonal azul e 17,5% utilizando a tarifa horo-sazonal verde, totalizando R\$ 6.053,00 e R\$ 5.787,00, respectivamente. O Figura 5.24 apresenta a redução obtida, realizando uma comparação entre as tarifas convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

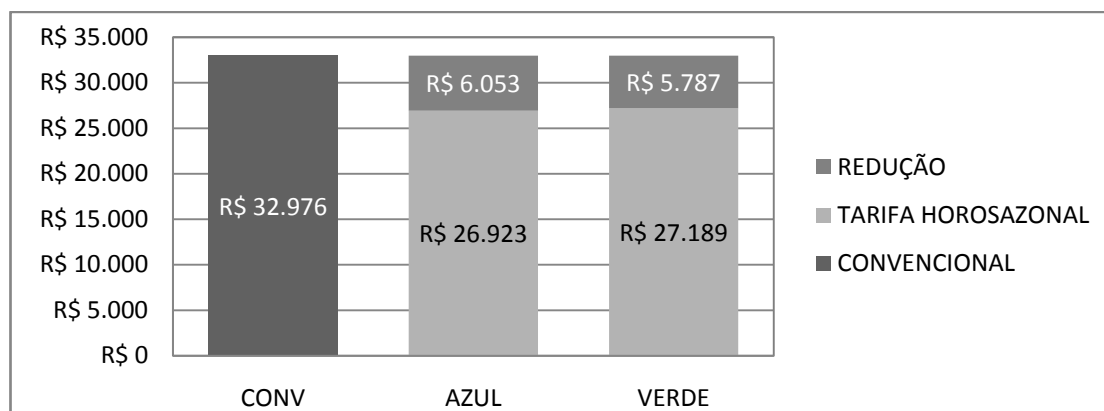


Figura 5.24 - Comparação da redução do custo com energia para o consumo elétrico no mês de janeiro de 2008.

Com o reenquadramento das tarifas, a classificação do consumo ficou como apresentado na Figura 5.25.

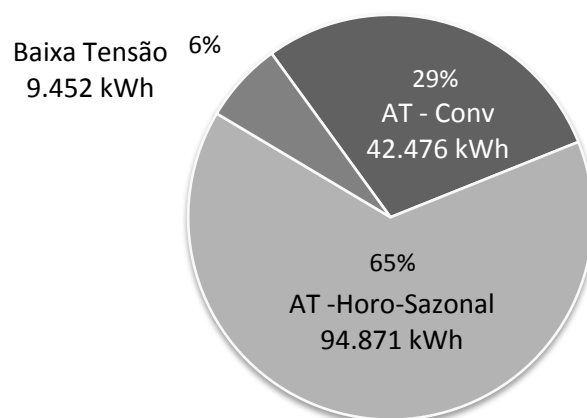


Figura 5.25 - Distribuição percentual do consumo de energia.

5.14 ANÁLISE DA REDUÇÃO TOTAL DE CUSTOS PARA O PERÍODO DE JUL/2007 – JUN/2008

Através de uma análise mais abrangente do cenário apresentado, verificou-se de forma quantitativa a redução do custo com energia elétrica no período de um ano, entre os meses de julho de 2007 e junho de 2008.

Realizando a comparação dos custos atuais, tarifa convencional, com os custos obtidos a partir do desligamento das estações elevatórias no horário de ponta, tarifas horo-sazonais, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 5.20.

A redução dos custos, para o sistema em geral durante o ano analisado, foi de 16,8% utilizando a tarifa horo-sazonal azul e 16,0% utilizando a tarifa horo-sazonal verde, totalizando R\$ 61.430,00 e R\$ 58.821,00, respectivamente. A Figura 5.26 e Figura 5.27 apresentam os gráficos referentes à redução obtida a partir do desligamento das estações elevatórias em estudo, realizando uma comparação entre as tarifas convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

Tabela 5.20 - Verificação da redução com o reenquadramento tarifário, em relação ao consumo total de energia no sistema durante o período de 1 ano.

MÊS/ANO	CONSUMO ENERGÉTICO [Kwh]	Fatura			Redução do custo			
		Convencional [R\$]	Horo-sazonal Azul [R\$]	Horo-sazonal Verde [R\$]	Horo-sazonal Azul		Horo-sazonal Verde	
					[R\$]	[%]	[R\$]	[%]
JUL/07	125.212	29.421	24.832	25.042	4.589	16%	4.379	15%
AGO/07	120.616	28.695	24.142	24.326	4.553	16%	4.369	15%
SET/07	135.342	31.137	26.463	26.684	4.674	15%	4.453	14%
OUT/07	117.970	28.229	23.687	23.845	4.542	16%	4.384	16%
NOV/07	125.584	29.499	24.916	25.102	4.582	16%	4.396	15%
DEZ/07	138.061	31.513	25.610	25.834	5.903	19%	5.679	18%
JAN/08	146.799	32.976	26.923	27.189	6.053	18%	5.787	18%
FEV/08	136.930	31.338	25.558	25.776	5.780	18%	5.562	18%
MAR/08	142.074	31.927	26.024	26.300	5.903	18%	5.627	18%
ABR/08	131.624	30.374	24.675	24.866	5.699	19%	5.508	18%
MAI/08	134.145	30.791	26.234	26.479	4.557	15%	4.312	14%
JUN/08	133.975	30.686	26.092	26.321	4.594	15%	4.364	14%
TOTAL	1.588.329	366.586	305.156	307.765	61.430	16,8%	58.821	16,0%

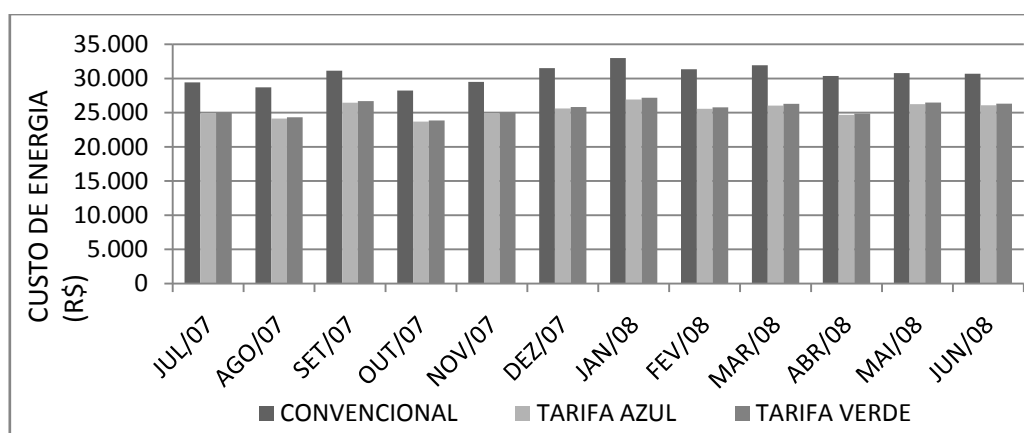


Figura 5.26 - Comparação dos custos de consumo de energia durante o período de 1 ano.

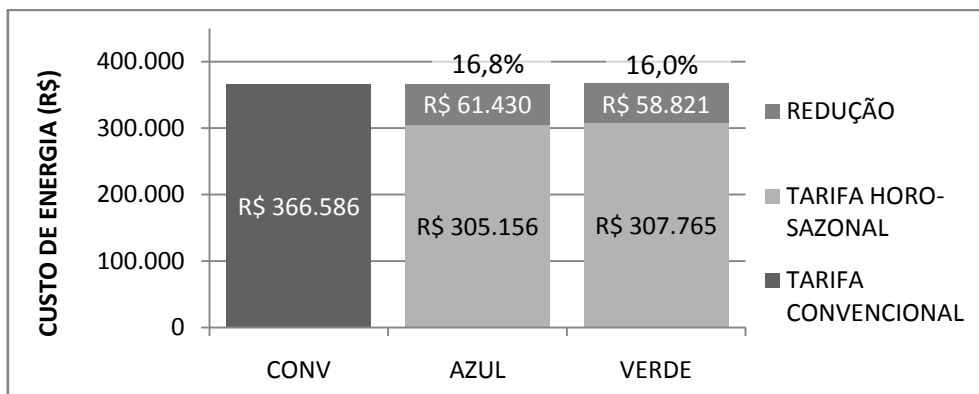


Figura 5.27 - Comparação da redução do custo com energia para o consumo elétrico no mês de janeiro de 2008.

6. CONCLUSÕES

A enorme demanda energética brasileira revela a necessidade e urgência de busca de soluções alternativas nos sistemas de saneamento que venham a diminuir o impacto ambiental neste sentido, bem como reduzir os custos elevadíssimos com energia na área.

Neste contexto é que o presente trabalho foi proposto, tendo como objetivo principal buscar a redução do custo com energia elétrica através da paralisação das estações elevatórias classificadas como de alta tensão no horário de ponta.

Através de uma análise realizada a partir de informações obtidas pelo levantamento em campo, quanto às unidades consumidoras, dos dados de telemetria do sistema, bem como das faturas de energia elétrica, foi possível proceder ao diagnóstico de resultados obtidos com o desligamento dos conjuntos motor-bomba em horário de ponta de consumo energético, para reduzir a carga consumida pelas estações elevatórias.

Assim, a partir dos dados obtidos através do diagnóstico realizado, foi possível fazer um levantamento do dia de maior consumo no período de um ano, cujo marco pôde ser utilizado como base para se realizar o cálculo do volume consumido de água na pior situação.

Fazendo a análise para o desligamento dos conjuntos motor-bomba no horário de ponta, foi verificada a possibilidade de paralisação das elevatórias, onde a capacidade dos reservatórios suportariam a demanda de consumo de água. Para concretizar esta viabilidade, a mudança da operação do nível mínimo de operação da CB-09 passaria de 20% para 35% da capacidade do R-09, alcançando o volume mínimo necessário para abastecer o setor no horário de ponta.

Com a paralisação das CB's, obteve-se como resultado uma redução de 59% da carga consumida no horário de ponta. A partir destas informações, foi realizada uma simulação tarifária onde foi comprovado que a modificação para as tarifas horosazonais reduziria o custo com energia elétrica em 16,8% optando pela tarifa azul e 16,0% pela tarifa verde.

7. RECOMENDAÇÕES

- A automação da captação, não levantada neste trabalho, deverá ser estudada para obter um prognóstico de um possível “transbordamento” dos reservatórios, devido à não paralisação dessa estação elevatória. A viabilidade do desligamento da CB-01 deverá ser analisada em conjunto com a operação da ETA, pois, a paralisação ou um remanejamento do tempo de funcionamento da estação de tratamento origina problemas administrativos como o remanejamento do quadro de horários dos operadores.
- Devido aos reservatórios estarem trabalhando com níveis operacionais superdimensionados, existe a possibilidade de otimizar o funcionamento das estações elevatórias alterando seus controles de acionamento dos conjuntos motor-bomba, obrigando os reservatórios a “trabalharem” mais, utilizando melhor as suas capacidades de armazenamento.
- Para alcançar os resultados obtidos, os contratos com a concessionária de energia elétrica deverão ser modificados para a utilização da tarifa horo-sazonal azul. As concessionárias oferecem um prazo de três meses para testes e verificações dos consumos no horário de ponta. Durante estes 90 dias é aconselhável a análise dos níveis dos reservatórios e operações dos conjuntos motor-bomba.
- Os modelos computacionais de simulação de sistemas de abastecimento, nos fornecem uma maneira de realizar as modificações propostas e analisar a implantação destas novas regras operacionais antes de fazer alguma alteração no sistema real. Para dar continuidade a este trabalho, serão realizados testes no modelo computacional do sistema de abastecimento de Capinzal/Ouro, verificando assim, os resultados obtidos neste estudo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR-12214 **Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992.

ALEGRE, H. *et al.* **Performance indicators for water supply service**. IWA Publishing. London, 2000.

ANEEL. **Tarifas de fornecimento de energia elétrica**. Brasília - DF: Cadernos temáticos ANEEL, 2005.

ANEEL.2000; www.aneel.gov.br/defaultinf.htm

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**. Editora Edgard Blücher, 7a ed. São Paulo, 1986.

BAHIA, S. R. **Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento**. Rio de Janeiro: IBAM, PROCEL/ELETROBRÁS, 1998.

BARDALES, K. L. N. **“Otimização energética da operação de um sistema adutor de água tratada utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo.”** Campo Grande - MS: UFMS, 2007.

BRASIL. **Balanço energético nacional**. Brasília - DF, 2006.

_____, Ministério das Minas e Energia,. **Nova tarifa de energia elétrica: metodologia e aplicação**. Brasília - DF: DNAEE, 1985.

DUARTE et al. **Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento**. In: VIII SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO, 2008.

ELETROBRÁS. **Manual de tarifação de energia elétrica**. Brasília, DF: PROCEL, 2001.

_____. **Manual de Instruções Para Utilização da RGR**. Brasília, 2003.

_____. **Plano de ação PROCEL SANEAR 2006/2007**. Rio de Janeiro - RJ: PROCEL, 2005.

GELLER, H. S., 1991, **O Uso Eficiente da Eletricidade: uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro, INEE.

GOMES, Heber Pimentel. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

HADDAD, J.; MARTINS, A. R.; MARQUES, M. **Conservação da energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá - MG: FUPAI, 2001.

HERMSDORFF, W. and OLIVEIRA FILHO, D. **Geração independente na ponta**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3.Campinas, 2000.

IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

JAMES, K.; CAMPBELL, S. L.; GODLOVE, C. E. **Água e Energia: Aproveitando as oportunidades de efficientização da água e energia não exploradas nos sistemas municipais**. Washington D.C.: Alliance to Save Energy, 2002.

JANNUZZI, G. M. e SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado de recursos energéticos**. Autores Associados, Campinas/SP, 1997.

MACHINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio, Guanabara, 1980.

MARQUES, Milton César Silva. HADDAD, Jamil. **Eficiência energética: teoria & prática**. FUPAI. Itajubá, 2007.

MONACHESI, M. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

NOGAMI, P. S, YASSUDA, E. R;. **Consumo de água**. Capítulo 4. In: Abastecimento e Tratamento de Água. Vol. 1. Cetesb. São Paulo, 1976.

OTERO, Osvaldo Luiz Cramer de et al. **“Método expedito para avaliação de desempenho de conjuntos motobombas.”** In: XXIV - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Belo Horizonte, 2007.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

RECESA. **Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2** / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Salvador, 2008.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

—. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2005.

WEG. **Catálogo geral de motores elétricos: características, especificação, instalação e manutenção**. Jaraguá do Sul - SC: WEG, 2004.